

UMEÅ TINGSRÄTT
Domare 2:5

INKOM: 2021-06-28
MÅLNR: M 2090-19
AKTBIL: 322

LIITE E

Prosessiveden koostumus

MEMORANDUM

DATE 04/07/2019

Project No. 18109724

TO Andreas Lofgren, Erik Karlsson, Golder Sweden

CC Christine Campbell

FROM Tobias Roetting

EMAIL TRoetting@golder.com

IRRALLISTEN AINEIDEN KULJETUSMALLINNUS GOLDSIMissä JA PHREEQC:ssa KAUNIS IRONIN KAIVOSVEDENKÄSITTELYÄ VARTEN

1.0 JOHDANTO

Tämä PM on laadittu yhteenvedoksi työmenetelmästä ja alustavista tuloksista liuenneiden aineiden GoldSim kuljetusmallinnuksesta, joka tehdään osana kuvausta Kaunis Iron AB:n vedenkäsittelystä suunnitellussa Tapulin, Palotievan ja Sahavaaran avolouhoksien toiminnassa mukaan lukien louhitun malmin rikastus.

2.0 TARKOITUS JA TYÖN KUVAUS

Laaditun liuenneiden aineiden kuljetusmallin tarkoituksena on simuloida veden laadun kehitystä pääasiallisissa vesialtaissa (lähinnä prosessivesialtaassa ja selkeytysaltaassa) sekä ylijäämävedessä, joka puretaan Muonionjokeen kaivoksen toiminnan aikana.

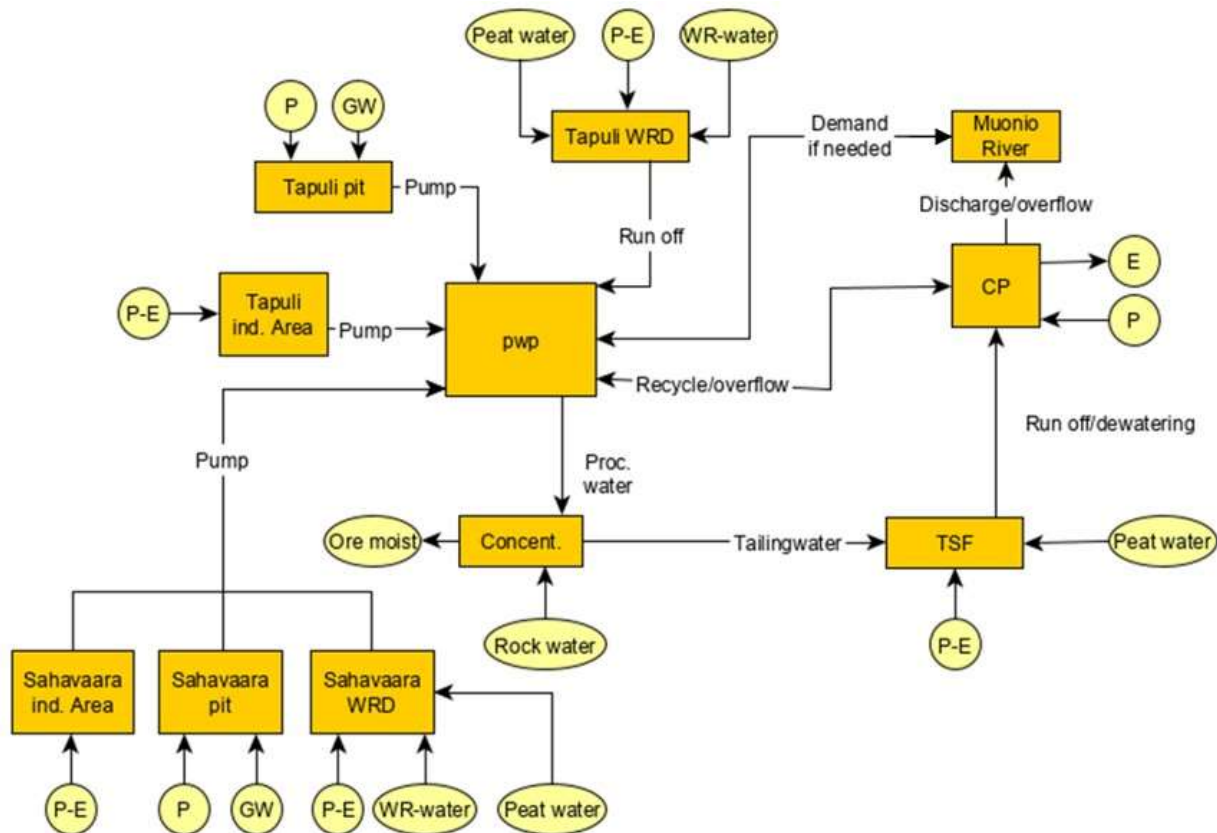
Kaksi skenaariota simuloidaan: Perustapausskenaario (ilman mitään veden käsittelyä tai jätteitä erottavia toimenpiteitä) toimii viitemallina, jolla valaistetaan kaivoksen vedenkäsittelyn tai purkuveden potentiaalisia laatuongelmia, joita voidaan odottaa, ellei vedenkäsittelyä, jätteenerottelua ja/tai muita käsittelystrategioita oteta käyttöön. Tuloksia perustapausskenaariosta käytetään vedenkäsittelyn suositusten, jätteenerottelun ja/tai muiden käsittelystrategioiden laatimiseksi, jotka voivat parantaa veden laatua, jos se katsotaan tarpeelliseksi.

Vedenkäsittelyn vaikutuksia veden laatuun kaivoksen vedenkäsittelyssä, purkuvedessä ja purkuvesistössä simuloidaan käsittelyskenaariossa.

3.0 MENETELMÄT

3.1 Vesitasemalli

GoldSimin vesitasemallin (joka simuloi virtaamia ja veden varastointia, mutta ei liuenneita aineita) pääkomponentit esitetään kuvassa 1. Se käsittää sekä nykyiset kaivoslaitokset Tapulin kaivos- ja käsittelyalueella että tulevat kaivoslaitokset Sahavaaran kaivosalueella. Vesitasemallia kehitetään parhaillaan ja joitakin tekijöitä muotoillaan edelleen, mutta kaikki pääasialliset kaivostoiminnot ja prosessit on jo toteutettu. Kaunis Ironin GoldSimin vesitasemallia (versio 12/06/2019) on käytetty perustana laadittaessa GoldSimin kuljetusmallia liuenneille aineille.



Kuva 1: Kaunis Ironin kaivoksen kaavamainen virtaamadiagrammi

3.2 Liuenneiden aineiden kuljetusmalli

Liuenneiden aineiden kuljetusmalli on suunniteltu käyttämällä GoldSimin versiota 12.1.2 # 166. Kuljetusmalli keskittyy prosessivesialtaaseen ja selkeytysaltaaseen, jotka ovat kaksi tärkeintä komponenttia kaivoksen vedenkäsittelyssä, jossa tapahtuu eri lähteistä tulevien vesien sekoittuminen (katso kuva 1, yllä).

3.2.1 Prosessivesiallas

Prosessivesiallas on kaivoksen pääasiallinen vesivarasto. Se ottaa vastaan vettä seuraavista kaivoksen osista ja infrastruktuureista:

- Pumppausvesi Tapulin kaivoksesta;
- Valuma ja vuoto Tapulin sivukivivarastosta (WRD);
- Valuma tiiviiltä pinnoilta Tapuli teollisuusalueella;
- Suora sade prosessivesialtaaseen;
- Valuma ja sulanut lumi prosessivesialtaan valuma-alueilta, joihin kaivoksen infrastruktuuri ei vaikuta;
- Selkeytysaltaasta kierrätetty prosessivesi;

- Raakavesi Muonionjoesta, jota pumpataan talvella putkien jäätymisen estämiseksi ja silloin kun järjestelmässä on veden alijäämää;
- Tulevaisuudessa tähän sisältyy myös kontaktivesi Sahavaaran kaivosalueelta:
 - Pumppausvesi Sahavaaran kaivoksesta;
 - Valuma ja vuoto Sahavaaran sivukivivarastosta;
 - Valuma tiiviiltä pinnoilta Sahavaaran kaivosalueella
- Sulamisvesi prosessivesialtaan jäätystä, joka sulaa jälleen altaassa kevään aikana.

Veden purku prosessivesialtaasta Muonionjokeen tapahtuu silloin, kun prosessivesialtaassa on ylijäämävettä. Valvontatiedot prosessivesialtaan valvontapisteestä PRO4 ovat saatavilla.

3.2.2 Selkeytysallas

Selkeytysallas on kaivoksen toissijainen vesivarasto. Se ottaa vastaan vettä seuraavista kaivoksen osista ja infrastruktuureista:

- Valumavesi hiekkavarastosta, johon sisältyy
 - a) Magneettisesti eroteltu rikastushiekka;
 - b) Vaahdotushiekka (jälkimmäistä tuotetaan Sahavaaran kaivoksen ollessa toiminnassa);
- Suora sade selkeytysaltaaseen; ja
- Valuma, lumen sulaminen ja jään sulaminen

Vesi pumpataan selkeytysaltaasta takaisin prosessivesialtaaseen silloin kun vedestä on pulaa prosessivesialtaassa ja selkeytysaltaassa on ylijäämävettä. Tavallisesti, jos selkeytysaltaassa on ylijäämävettä, se puretaan Muonionjokeen. Prosessivesialtaan valvontatiedot tarkastuspisteestä PRO6 ovat saatavilla.

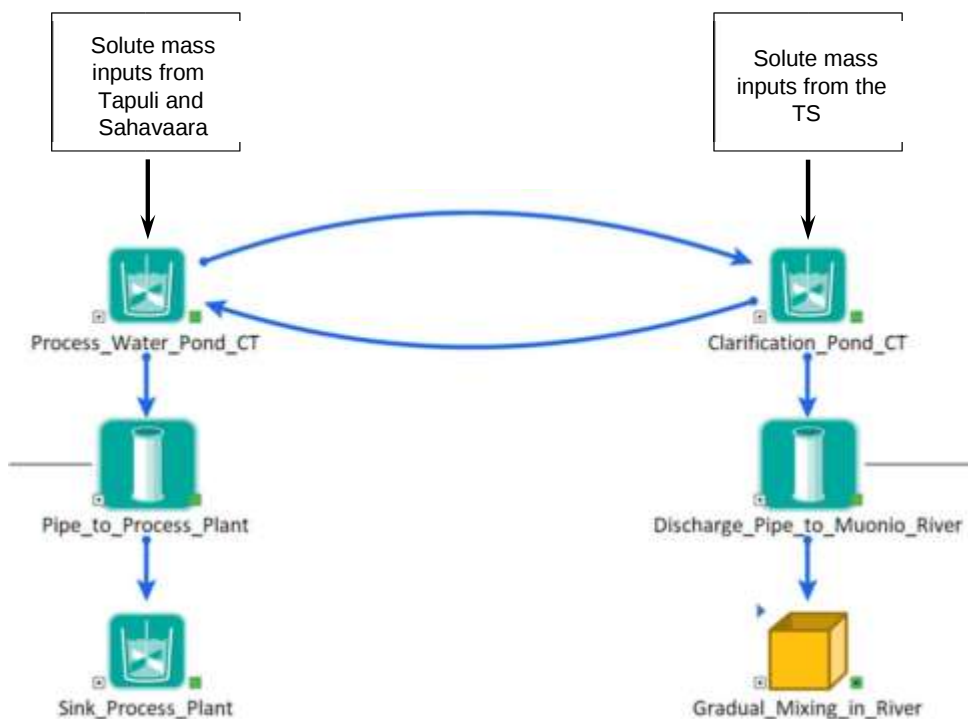
3.3 Sekoitusmallin asetukset

Kaavamainen esitys liukenemis- ja kuljetusmallista on kuvassa 2. Kemiallisen liuoksen massakuormitus jokaiselle kemialliselle lähteelle (jotka kuvataan edellisessä kohdassa) lasketaan joka vesityypin koostumuksen ja virtaamanopeuden mukaan. Kemialliset massakuormitukset asetetaan prosessivesialtaan tai selkeytysaltaan sekoitussoluihin mallinnuksen jokaisessa aikavaiheessa, jossa GoldSim laskee kumulatiivisen massan jokaisessa sekoitussolussa, jotka on integroitu vesitasemallin virtaama- ja tilavuustietoihin johtaakseen liuospitoisuudet jokaiseen soluun. Vesi ja kemiallinen massa siirtyy sitten ympäri vedenkuljetusjärjestelmässä vesitasemallin määritelmän mukaan.

Prosessilaitosta käsitellään "mustana laatikkona", ts. veden virtaamat ja kiinteät aineet ja niihin liittyvät kemialliset reaktiot, joita prosessilaitoksessa esiintyy, eivät ole nimenomaan edustettuina mallissa. Sen sijaan prosessilaitos mallinnetaan säiliöksi, joka ottaa vastaan päästöjä prosessivesialtaasta ja hiekkavarasto määritellään prosessiveden lähteeksi ja kemialliseksi massaksi selkeytysaltaaseen.

Päästöt selkeytysaltaasta Muonionjokeen simuloidaan asteittaisena sekoitusprosessina, koska on havaittu, että kaivosvesi ei sekoitu välittömästi purkupisteessä koko Muonionjoen virtaaman kanssa. Alavirtaan olevassa valvontapisteessä SS39 on laskettu, että kaivosvesi sekoittuu vain noin 5 prosenttiin joessa virtavasta vedestä.

Edelleen alavirtaan, jossa joen kosket sijaitsevat, kaivoksen purkuvesi sekoittuu täysin joen koko virtaaman veteen. Tämän vuoksi GoldSim-malli laskee ensin sekoittumisen 5 prosenttiin Muonionjoen vedestä ja sitten toisessa vaiheessa tämän veden sekoittumisen loppuun 95 prosenttiin Muonionjoen virtaamasta.



Kuva 2: Kaavamainen sekoitusmallin virtaamakuva.

Liuennot kuljetusmalli nykyisessä konfiguraatiossaan simuloi seuraavien elementtien konservatiivista kuljetusta: Al, As, Ba, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, NH₄_N, Ni, NO₃_N, N_{tot}, pH, Pb, PO₄_P, Sb, SO₄, Sr, U, Zn, Emäksisyys

Seuraavat rajoitukset pannaan merkille:

- Mitään vaimennusreaktioita, kuten mineraalien saostumista tai hivenmetallien sorptiota mineraalipinnoille ei simuloida, jonka vuoksi simuloituja pitoisuuksia pidetään konservatiivisina arvioina.
- GoldSim simuloi jokaisen elementin liuenneen pitoisuuden, ei kokonaista (joka sisältää kiinteitä aineksia tai biosaatavan hiukkaskoon).
- pH:n ja emäksisyyden simulointi GoldSimissä on ongelmallista, koska puskuroivaa vaikutusta pH:hon ei simuloida ohjelmassa. Täten GoldSimissä ei ole laskettu pH-arvoja, koska ne edustaisivat aivan liian laajaa arviointia. Parempi sekoitettujen liuosten pH-arvio voidaan saada käyttämällä geokemiallisia spesifioivia koodeja, kuten PHREEQC, koodin on kehittänyt US Geological Survey (USGS) ja se on laajalti hyväksytty alan standardiksi geokemiallisessa mallinnuksessa. Tämä koodi simuloi erittäin tarkasti selkeytysaltaassa ja prosessivesialtaassa suurella todennäköisyydellä tapahtuvaa mineraalien

saostumista ja sorptioreaktioita. Rinnakkainen termodynaaminen sekoitusmalli tehtiin PHREEQC:ssä, mikä on kuvattu kohdassa 3.5.

Virtaama- ja kuljetusmalli on laadittu 1000 realisaation ajoon, jotka pohjautuvat satunnaiseen ilmastoon Monte Carlo-simuloinnissa ja laskee sitten todennäköisyysjakaumat tuloksena saaduille virtaamille, tilavuuksille ja elementtipitoisuuksille.

3.4 Kemialliset lähdeterminit

Kemialliset lähdeterminit kuvaavat paikat liuoksenkuljetusmalleissa, joissa kemiallinen massa lisätään vedenkuljetusjärjestelmään. Nykyisessä perusmallissa Golder on mallintanut edustavan kemiallisen yhdistelmän lähdeterminille saatavilla olevista geokemiallisista raporteista ja valvontatiedoista. Seuraavassa osassa kuvataan saatavilla olevat tiedot eri paikoista. Siinä tapauksessa, että lähdetiedot puuttuivat mainittujen vesityyppien syöttöparametreille, oletettiin arvo sopivasta Proxystä (Katso kohta **Fel! Hittar inte referenskälla.**). Prosessi kuvataan kohdassa 3.4.12, yhdessä kemiallisten lähdeterminien yhdistelmän kanssa.

3.4.1 Tapulin ja Sahavaaran sivukivivaraston valumavesi (vuoto/valuma) –

Northland (2014) ja SRK (2014) ovat tehneet arvioita liuenneiden aineiden pitoisuuksista Tapulin (taulukko 1) ja vastaavasti Sahavaaran (taulukko 2) sivukivivaraston kontaktivedessä. Veden laadut vastaavat tilannetta tuotannon päättyessä, sivukiven määrän ollessa suurimmillaan ja kun rapautumista on ehtinyt tapahtua muutaman vuoden ajan. Sahavaarassa on arvioitu laatu kontaktivedelle, joka on peräisin ei happoa muodostavasta (NAF) sekä potentiaalisesti happoa muodostavasta (PAF) sivukivestä Sahavaaran kaivoksesta. On myös tehty arviointi NAF- ja PAF- veden sekoittumisesta pohjaveden kanssa (ei ole käytetty Sahavaaran sivukivivarastossa alla, vaan perustoteutmana Sahavaaran valumaveden laadun arvioinnissa).

Taulukko 1: Oletetut liuenneiden aineiden pitoisuudet Tapulin sivukivivaraston valumavedessä tuotannon päättyessä (Northland, 2014)

Parametri	Yksikkö	Tapuli
pH	S.U.	7,29
Emäksisyys	mg/L CaCO ₃	146,7
SO ₄	µg/L	300 092
Al	µg/L	1,5
As	µg/L	0,1
Ca	µg/L	32 237
Co	µg/L	21
Cu	µg/L	1,7
Fe	µg/L	0,2
Mg	µg/L	87 761
Mn	µg/L	314
Mo	µg/L	159
Na	µg/L	54 564
Ni	µg/L	37

Pb	µg/L	0,1
Sb	µg/L	60
Zn	µg/L	46
U	µg/L	13

Taulukko 2: Oletetut liuenneiden aineiden pitoisuudet Sahavaaran sivukivivaraston valumavedessä tuotannon päättyessä (SRK, 2014)

Parametri	Yksikkö	NAF	PAF	NAF, PAF ja pohjavesi yhdessä
pH	S.U.	7,84	3–5	6,86
SO ₄	µg/L	428,936	4,125,455	715,284
Al	µg/L	2,60	26,078	59,6
As	µg/L	1,60	67,6	7,99
Ca	µg/L	40,069	469,345	91,990
Co	µg/L	82,6	139	64,6
Cr	µg/L	94,0	125	67,6
Cu	µg/L	13,8	180	27,2
Fe	µg/L	0,336	1,097,615	43,739
Mg	µg/L	110,240	226,044	92,384
Mn	µg/L	1,33e-7	4,959	752
Mo	µg/L	445	677	328
Na	µg/L	163,779	118,413	125,597
Ni	µg/L	22,8	6,810	719
Pb	µg/L	0,721	212	22,2
Sb	µg/L	250	64,1	151
Zn	µg/L	1,136	319	707
U	µg/L	236	171	154

3.4.2 Valumavesi rikastushiekastaja vaahdotushiekasta

Selkeytetty vesi rikastusprosessista päästetään yhdessä kiinteiden hiukkasten kanssa rikastusprosessista hiekkavarastoon ja kerääntyminen tapahtuu selkeytysaltaaseen. Tapulin malmin valumaveden laadusta hiljattain tehdyssä tutkimuksessa (valvontapiste PRO9) Kaunis Iron on analysoinut kaksi näytettä helmikuussa 2019. Keskimääräiset pitoisuudet prosessivedessä on esitetty taulukossa 3.

Sahavaaran malmille, joka poikkeaa merkittävästi koostumukseltaan Tapulin malmista (erityisen korkea sulfidipitoisuus ja hivenmetallisisälyys), SGS/LABTIUM teki vuonna 2009 vaahdotusprosessin pilottikokeilun. Valumaveden koostumus vahvistettiin pilottikokeiden yhteydessä (neljän RC-tot kokeen keskiarvo) mitä käytettiin arvioitaessa valumaveden (prosessivesi) laatua Sahavaarasta aktiivisen vaiheen aikana (taulukko 3). Sahavaaran rikastushiekan (vaahdotushiekka) valumaveden pH oli alempi kuin Tapulin hiekan valumaveden ja tämän lisäksi myös sulfaatti-, Fe-, Mn-, Zn- ja Ni-pitoisuudet olivat korkeampia.

Taulukko 3: Arvioitu rikastushiekan ja vaahdotushiekan laatu.

Parametri	Yksikkö	Tapulin valuma	Sahavaaran valuma
-----------	---------	----------------	-------------------

pH	S.U.	9,37	4,71
Emäksisyys	mg/L	134,0	1,375
Al	mg/L	0,00082	3,381
As	mg/L	0,00045	0,00077
Ba	mg/L	0,050	0,055
Ca	mg/L	9,0	91,9
Cd	mg/L	0,000019	0,000123
Cl	mg/L	140	5,66
Co	mg/L	0,000066	0,13
Cr	mg/L	0,00076	0,0157
Cu	mg/L	0,0008	0,0005
F	mg/L	0,39	0,39
Fe	mg/L	0,0025	162,1
H	mol/L	4.29e-10	1,95e-5
Hg	mg/L	0,00001	0,00001
Mg	mg/L	32,3	186.4
Mn	mg/L	0,14	5.98
Mo	mg/L	0,020	0,0002
Ni	mg/L	0,0007095	0,59925
Pb	mg/L	0,00007435	0,00019375
Sb	mg/L	0,000095	0,000095
SO ₄	mg/L	48	2051
Sr	mg/L	0,09	0,21
U	mg/L	0,0000314	0,00025
Zn	mg/L	0,0003	0,148

3.4.3 Tapulin keskeisen avolouhoksen tyhjennysvesi

Tapulin kaivoksen kontaktiveden laatu on arvioitu valvontapisteen PRO3 tiedoista (mitattu 2013–2019).

Taulukko 4: Tapulin keskeisen avolouhoksen tyhjennysveden arvioitu laatu.

Parametri	Yksikkö	PRO3 monitoring data
pH	S.U.	8,10
Emäksisyys	mg/L CaCO ₃	4,0

Cl	mg/L	6,71
SO ₄	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
Ni	mg/L	0,003
Pb	mg/L	0,00012
Sr	mg/L	0,120
Zn	mg/L	0,008
U	mg/L	0,010

3.4.4 Tapulin pohjoisen avolouhoksen tyhjennysvesi

Tapulin pohjoisen avolouhoksen tyhjennysveden koostumus vastaa Tapulin keskeisen louhoksen tyhjennysveden koostumusta.

3.4.5 Sahavaaran avolouhoksen tyhjennysvesi

Tällä hetkellä ei ole käytössä luotettavia arvioita Sahavaaran avolouhoksen tyhjennysveden aikaisemmista geokemiallisista tutkimuksista. Täten Sahavaaran avolouhoksen tyhjennysvesi on arvioitu konservatiivisesti perustuen Sahavaaran sivukivivaraston valumaveden laatuun (katso kohta 3.4.1 yllä). Pitoisuudet sivukivivaraston valumaveden NAF/PAF-sekoitukselle, jonka SRK raportoi (2014), kerrottiin kertoimella 0,75 jotta otettiin huomioon kiinteän/liuenneen matalampi suhde kaivoksen seinävalumassa. Edellytetty yhteenvedo on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5: Sahavaaran avolouhoksen tyhjennysveden laatu.

Parametri	Yksikkö	Sahavaara nit
pH	S.U.	6.98
Emäksisvvs	ma/l CaCO	n/a
Cl	ma/l	71.72
SO	ma/l	536.5
Al	mg/l	0,017

As	mg/l	0,0023
Ba	mg/l	0,041
Ca	mg/l	25,8
Cd	mg/l	0,00009
Co	mg/l	0,018
Cr	mg/l	0,019
Cu	mg/l	0,020
F	mg/l	0,29
Fe	mg/l	32,8
Hg	mg/l	0,00001
Mg	mg/l	69,3
Mn	mg/l	0,56
Mo	mg/l	0,25
Ni	mg/l	0,54
Pb	mg/l	0,017
Sb	mg/l	0,11
Sr	mg/l	0,16
U	mg/l	0,12
Zn	mg/l	0,53

3.4.6 Palotievan avolouhoksen tyhjennysvesi

Palotievaan ja Sahavaaraan suunnitteilla olevien avolouhosten kallion odotetaan sisältävän suurempia sulfiittipitoisuuksia kuin Tapulin kallion. Palotievan avolouhoksen tyhjennysvedelle on sen vuoksi annettu vastaavanlainen koostumus kuin Sahavaaran avolouhoksen tyhjennysvedelle.

3.4.7 Kivilouhoksen vesi

Tapulin avolouhoksen läheisyydessä olevaa kivilouhosta suunnitellaan käytettäväksi vaahdotushiekan varastointiin. Ennen varastointia louhos täyttyy pohjavedestä. Vaahdotushiekalla odotetaan olevan noin 61,9 % volumetrinen vesipitoisuus ts. volumetrinen kiinteän aineen pitoisuus on 38,1 %. Varastoidun vaahdotushiekan kokonaisvolyymi (ts. kiinteät aineet ja huokosvesi materiaalissa) syrjäyttävät vastaavan määrän avolouhoksessa jo olevaa vettä. Syrjäytetyn veden keskimääräisen koostumus on arvioitu konservatiivisesti, olettaen että kaikki huokosvesi vaahdotushiekkassa sekoittuu louhoksessa olevan veden kanssa ja että rikastushiekan kiinteät hiukkaset korvaavat samansuuruisen pohjavesivolyymien louhoksessa. Laskelman tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6: Oletettu louhoksesta syrjäytetyn veden koostumus vaahdotushiekkaa varastoitaessa.

Parametri	Yksikkö	Tapulin pohjavesi	Sahavaaran hiekkavaraston vesi	Syrjäytetty vesiseos
Hiukkaskoko:		38,1 %	61,9 %	

pH	S.U.	6,62	4,71	5,44
Emäksisyys	mg/l 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
Ni	mg/l	0,0042	0,5993	0,3728
NO ₃ _N	mg/l	0,01	4,02	2,49
N _{tot}	mg/l	1,55	5,38	3,92
Pb	mg/l	0,00006	0,00019	0,00014
PO ₄ _P	mg/l	0,93	1,25	1,13
Sb	mg/l	0,0036	0,0001	0,0014
SO ₄	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

3.4.8 Turvevesi

Turvekerros, jonka päälle suurin osa sivukivivarastosta ja hiekkavarastosta rakennetaan, tiivistyy kaivoksen toiminta-aikana sivukiven ja rikastushiekan lisääntyvän painon alla ja turpeessa oleva huokosvesi puristuu ulos ja valuu kaivoksen vedenkäsittelyjärjestelmään. Northland (2013) oletti turveveden koostumuksen perustuvan turveveden analyyseihin Tapulissa ja yleisiin tietoihin turvetuotannosta Suomessa (Taulukko 7). Suurin osa oletetuista arvoista on peräisin Tapulin tiedoista ja muutamat parametriarvot (kursiivilla ja puolilihavalla tekstillä taulukossa 7) ovat peräisin yleisistä tiedoista Suomesta.

Taulukko 7: Turpeen huokosveden pitoisuudet, jotka on mitattu Tapulissa sekä valumavedestä turvetuotannossa Suomessa. Puolilihavat arvot turvetuotannosta viittaavat arvoihin, joita käytettiin Tapulin arvojen sijasta. Lähde: Northland (2013)

Parametri	Yksikkö	Tapulin mittaus <i>Mediaani</i>	Turvetuotanto Suomessa	Tapulin yhteen liitetty tiedot <i>Mediaani</i>
pH	S.U.	5,7	6,2	5,7
Emäksisyys	mg HCO ₃ /l	52		52
Suspendoituneet aineet	mg/L	-	10	10
P _{tot}	µg/l	86	60	60
PO ₄ -P	µg/l	42	30	30
N _{tot}	µg/l	5135	1100	5135
NH ₄ -N	µg/l	3110	100	3110
NO _{2,3} -N	µg/l	2,5	200	200
Cl	mg/l	1,1		1,1
SO ₄	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

3.4.9 Sademäärä – sade ja sulamisvesi

Sateen koostumus (sade ja lumen sulaminen) määritellään puhtaaksi vedeksi ilman liuenneita aineita tai suspendoituneita kiintoaineita. Sateen pH-arvoksi määrättiin pH 5,5, joka on tasapainossa ilmakehässä olevan hiilidioksidin (CO₂) kanssa.

3.4.10 Muonionjoen vesi

Muonionjoessa on kaksi näytteenottopaikkaa, joita käytetään viitteenä.:

- SS38 (ylävirtaan kaivoksen purkupisteestä): valvontapistettä käytettiin joesta otettavan raakaveden tulovirtaamien sekä kaivosveden tulovirtaamanopeuksien johtamiseen.

- SS39 (alavirtaan kaivoksen purkupisteestä): keskimääräistä veden laatua tässä valvontapisteessä käytetään viitteenä verrattaessa GoldSimin mallinnusta (osittaisen joessa virtaavaan veteen sekoittumisen jälkeen) ja havaittuihin tietoihin.

Keskimääräinen veden laatu (mitattu 2011–2019) molemmissa valvontapisteissä esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8: Keskimääräinen veden laatu Muonionjoessa ylä- (SS38) ja alavirtaan (SS39) kaivoksen purkupisteestä.

Parametri	Yksikkö	SS38	SS39
pH	S.U.	6,91	6,98
Emäksisyys	mg/L som 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-06	4,35e-06
Cl	mg/L	0,24	0,30
Co	mg/L	3,90e-05	4,37e-05
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-06	4,64e-06
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
Pb	mg/L	3,97e-05	3,35e-05
Sb	mg/L	0,0036	0,0038
SO ₄	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

3.4.11 Tapulin ja Sahavaaran teollisuusalueiden pintavalumat

Koskien olettamusta, että valuma teollisuusalueilta koostuu pääasiassa pelkästä sateesta. Teollisuusalueilta ei ole mitään valvontatietoja. Sen vuoksi on oletettu sadeveden olevan koostumukseltaan hieman enemmän mineralisoitunutta kuin puhdas sadevesi ja veden laatua Muonionjoessa ylävirtaan purkupisteestä (SS38)

käytetään Proxynä.

3.4.12 Parametrien arviointi

Tietyiltä simuloitavilta parametreilta puuttuvat lähdetiedot tietyille vesityypille, nämä arvioidaan sopivan Proxyn avulla lähdetermiksi. Tämän prosessin tulokset esitetään taulukossa 9, yhdessä kaikkien lähdetermien koostumusten yhteenvetona.

Taulukko 9: Lähdetermien koostumusten yhteenveto, tarvittaessa arvioiduin parametrein.

Parametri	Yksikkö	Tapulin sivukivi	Sahavaaran sivukivi - NAF	Sahavaaran sivukivi - PAF	Sahavaaran sivukivi - sekoitus	Rikastushiekka	Vaahdotushiekka
pH	S.U.	7,29	7,84	4,00	4,50	9,37	4,71
Emäksisyys	mg/L som CaCO ₃	146,72	1,38 ^b	1,38 ^b	1,38 ^b	133,99	1,38
Al	mg/L	0,002	0,003	26,078	0,060	0,001	3,381
As	mg/L	0,00010	0,00160	0,06760	0,00799	0,00045	0,00077
Ba	mg/L	0,050 ^a	0,055 ^b	0,055 ^b	0,055 ^b	0,050	0,055
Ca	mg/L	32,24	40,07	469,35	91,99	9,04	91,93
Cd	mg/L	1,90e-5 ^a	1,23e-4 ^b	1,23e-4 ^b	1,23e-4 ^b	1,90e-5	1,23e-4
Cl	mg/L	140,0 ^a	5,66 ^b	5,66 ^b	5,66 ^b	140,0	5,66
Co	mg/L	0,02100	0,08260	0,13900	0,06460	0,00007	0,12760
Cr	mg/L	0,00076 ^a	0,09400	0,12500	0,06760	0,00076	0,01572
Cu	mg/L	0,00170	0,01380	0,18000	0,02720	0,00079	0,00054
Fe	mg/L	0,000	0,000	1097,615	43,739	0,003	162,045
Hg	mg/L	1,00e-5 ^a	1,00e-5 ^b	1,00e-5 ^b	1,00e-5 ^b	1,00e-5 ^b	1,00e-5
K	mg/L	39,76 ^a	36,25 ^b	36,25 ^b	36,25 ^b	39,76	36,25
Mg	mg/L	87,76	110,24	226,04	92,38	32,26	186,35
Mn	mg/L	0,314	0,000	4,959	0,752	0,136	5,978
Mo	mg/L	0,1590	0,4450	0,6770	0,3280	0,0198	0,0002
Na	mg/L	54,56	163,78	118,41	125,60	57,76	67,98
NH ₄ _N	mg/L	1,10 ^c	1,10 ^c	1,10 ^c	1,10 ^c	0,78	0,78 ^a
Ni	mg/L	0,0370	0,0228	6,8100	0,7190	0,0007	0,5993
NO ₃ _N	mg/L	3,36 ^c	3,36 ^c	3,36 ^c	3,36 ^c	4,02	4,02 ^a
N _{tot}	mg/L	4,89 ^c	4,89 ^c	4,89 ^c	4,89 ^c	5,38	5,38 ^a
Pb	mg/L	0,00010	0,00072	0,21200	0,02220	0,00007	0,00019
PO ₄ _P	mg/L	0,06 ^a	1,25 ^b	1,25 ^b	1,25 ^b	0,06	1,25
Sb	mg/L	0,25	0,06 ^b	0,15	0,06	0,0001	0,0001
SO ₄	mg/L	300,09	428,94	4125,46	715,28	48,00	2051,00
Sr	mg/L	0,09 ^a	0,21 ^b	0,21 ^b	0,21 ^b	0,09	0,21
U	mg/L	0,01300	0,23600	0,17100	0,15400	0,00003	0,00025
Zn	mg/L	0,0460	1,1360	0,3190	0,7070	0,0003	0,1483

Alaviite:

^a: Oletus rikastushiekan tiedoista

^b: Oletus vaahdotushiekan tiedoista

^c: Oletus Tapulin avolouhoksen (PRO3) tyhjennysveden näytteenotosta ja analyysista

(jatkoa.): Lähdetermien koostumusten yhteenveto, tarvittaessa arvioiduin parametrein.

Parametri	Yksikkö	Tapulin kaivos	Sahavaaran kaivos	Tapulin pohjavesi	Kivilouhos	Turvevesi
pH	S.U.	8,1	4,62	6,62	5,44	5,7
Emäksisyys	mg/L CaCO ₃	146,72	1,03	0,0012	0,85	52
Al	mg/L	0,005	0,045	0,026 e	2,104	0,024
As	mg/L	0,00066	0,00599	0,00028	0,00058	0,00016
Ba	mg/L	0,045	0,041	0,03	0,045	0,015
Ca	mg/L	42,86	68,99	10,85	61,07	3,53 e
Cd	mg/L	0,0000239	0,0000919	0,00000946	0,0000795	0,0000338
Cl	mg/L	6,71	4,25	0,94	3,87	1,1
Co	mg/L	0,00052	0,04845	0,00158	0,07965	0,00004 e
Cr	mg/L	0,00032	0,0507	0,00053	0,00994	0,00208
Cu	mg/L	0,00253	0,0204	0,00092	0,00068	0,00028
Fe	mg/L	0,015	32,804	16,87	106,804	3,66
Hg	mg/L	0,0000553	0,0000075	0,0000138	0,0000115	5,88e-6 e
K	mg/L	8,36	8,36 c	1,66	23,09	0,63 e
Mg	mg/L	25,96	69,29	4,16	117,02	1,02 e
Mn	mg/L	0,024	0,564	1,004	4,085	0,005 e
Mo	mg/L	0,0071	0,246	0,0013	0,0006	0,0003 e
Na	mg/L	7,16	7,16 c	3,21	43,33	1,41 e
NH ₄ _N	mg/L	1,1	1,10 c	0,67	0,74	0,01 e
Ni	mg/L	0,0034	0,5393	0,0042	0,3728	0,0008
NO ₃ _N	mg/L	3,36	3,36 c	0,01	2,49	0,03 e
N _{tot}	mg/L	4,89	4,89 c	1,55	3,92	5,14
Pb	mg/L	0,00012	0,01665	0,00006	0,00014	0,00024
PO ₄ _P	mg/L	0,03	0,93	0,93	1,13	0,003 e
Sb	mg/L	0,06 d	0,11	0,11	0,0014	0,0001
SO ₄	mg/L	77,37	536,46	1,25	1271,05	0,3
Sr	mg/L	0,12	0,16	0,03	0,14	0,02 e
U	mg/L	0,01011	0,1155	0,00055	0,00036	0,00008 e
Zn	mg/L	0,0078	0,5303	0,0243	0,1011	0,023

Alaviite: ^c: Arvioitu Tapulin avolouhoksen tyhjennysveden näytteistä ja analyyseistä (PRO3)

^d: Arvioitu Tapulin sivukiven tiedoista^e: Arvioitu veden näytteistä ja analyysistä Muonionjoesta ylävirtaan (SS38)**(jatkoa): Lähdetermien koostumusten yhteenveto, tarvittaessa arvioiduin parametrein.**

Parametri	Yksikkö	Sade/lumi	SS38	SS39	Tapulin teollisuusalue ^e	Sahavaaran teollisuusalue ^e
pH	S.U.	5,5	6,91	6,98	6,91	6,91
Emäksisyys	mg/L CaCO ₃	0	12,25	14,92	12,25	12,25
Al	mg/L	0	0,026	0,024	0,026	0,026
As	mg/L	0	0,00004	0,00005	0,00004	0,00004
Ba	mg/L	0	0,008	0,009	0,008	0,008
Ca	mg/L	0	3,53	4,55	3,53	3,53
Cd	mg/L	0	0,00000344	0,00000435	0,00000344	0,00000344
Cl	mg/L	0	0,71	1,43	0,71	0,71
Co	mg/L	0	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004
Cr	mg/L	0	0,00022	0,00021	0,00022	0,00022
Cu	mg/L	0	0,0003	0,00029	0,0003	0,0003
Fe	mg/L	0	0,41	0,367	0,41	0,41
Hg	mg/L	0	0,00000588	0,00000464	0,00000588	0,00000588
K	mg/L	0	0,63	0,96	0,63	0,63
Mg	mg/L	0	1,02	1,7	1,02	1,02
Mn	mg/L	0	0,005	0,006	0,005	0,005
Mo	mg/L	0	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003
Na	mg/L	0	1,41	1,79	1,41	1,41
NH ₄ _N	mg/L	0	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	mg/L	0	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002
NO ₃ _N	mg/L	0	0,03	0,08	0,03	0,03
N _{tot}	mg/L	0	0,2	0,23	0,2	0,2
Pb	mg/L	0	0,00004	0,00003	0,00004	0,00004
PO ₄ _P	mg/L	0	0,003	0,003	0,003	0,003
Sb	mg/L	0	0,0036	0,0038	0,0036	0,0036
SO ₄	mg/L	0	2,86	4,26	2,86	2,86
Sr	mg/L	0	0,02	0,02	0,02	0,02
U	mg/L	0	0,00008	0,00016	0,00008	0,00008
Zn	mg/L	0	0,0024	0,0029	0,0024	0,0024

Alaviite:

^e: Arvioitu veden näytteistä ja analyysistä Muonionjoesta ylävirtaan (SS38)

3.5 PHREEQC geokemiallinen mallinnus

Kuten kohdassa **Fel! Hittar inte referenskälla** mainittiin, rakennettiin termodynaaminen malli käyttämällä PHREEQC Interactivea (versio 3.5.0.1400) veden pH:n ja emäksisyyden sekä mineraalien saostumisen ja sorptioreaktioiden simulointiin suurella tarkkuudella. Virtaamanopeuksien kuukausittaista keskiarvoa ja patotilavuuksia 1000 GoldSim Monte Carlo realisaatioista käytettiin sekoitusfraktioiden laskemiseen eri lähdeterminesille hiekkavarastossa, selkeytysaltaassa ja prosessivesialtaassa sekä asteittaiselle purkuveden sekoittumiselle ja vedelle Muonionjoessa. Laskelmiin sisältyi myös jäänmuodostuksen, haihtumisen sekä jään ja lumen sulamisen vaikutus.

Sekoittumislaskelmat siirrettiin PHREEQC:een, jossa simuloitiin sekoitus, geokemiallinen tasapaino sopivalla mineraalivaiheella ja sorptioreaktioilla. Selkeytysaltaassa ja prosessivesialtaassa oletettiin veden olevan yhteydessä ilmakehään ja että ilmakehän O_2 ja CO_2 pitoisuuksien välillä vallitsee tasapaino. Termodynaamista MINTEQA4 tietokantaa käytettiin kylläisyysindeksin laskemiseen tietokantaan sisältyneissä mineraalivaiheissa. Seuraavien mineraalien, joiden katsotaan olevan stabiileja selkeytysaltaan ja prosessivesialtaan geokemiallisissa olosuhteissa, annettiin saostua tasapainoon, jos ne olivat ylikyllästettyjä raaka-ainassa seoksessa:

- $Al(OH)_3_{am}$
- Ferrihydriitti
- Kalsiitti
- Baryytti
- Hausmanniitti
- Birnessiitti
- Manganiitti

Tämän lisäksi mallinnettiin hivenmetallien sorptio ferrihydriitin sakaksi.

3.6 Mallinnusskenaario

Kaksi kuljetusmallinnusskenaariota on simuloitu:

- a) Perustapaus, johon ei sisälly vedenlaatutoimenpiteitä.
- b) Käsittelytapaus, joka merkitsee sitä, että tyhjennysvesi Sahavaaran avolouhoksesta ja valumavesi potentiaalisesti happoa muodostavasta sivukivestä käsitellään alkaliannostelemalla pH 10,5:een (mahdollisesti yhdessä lisätyn rautasulfaatin kanssa) sekä sedimentoimalla ennen kuin se pumpataan edelleen prosessivesialtaaseen. Tällaisen käsittelyn oletetaan antavat 90 % pelkistykseen seuraaville aineille: Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, U ja Zn, sekä 70 % pelkistykseen sulfaateille. Näitä pidetään konservatiivisina arvioina, kun pH on 10,5 pelkistetään tavallisesti suurin osa näistä liuenneista aineista aktiivisessa vedenpuhdistusprosessissa. Sahavaaran avolouhoksesta tulevan käsitellyn veden ja potentiaalisesti happoa muodostavan sivukiven koostumus on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10: Sahavaaran avolouhoksesta tulevan käsitellyn tyhjennysveden ja potentiaalisesti happoa muodostavasta sivukivestä valuvan veden oletettu koostumus käsittelytapauksessa.

Parametri	% puhdistettu	Käsitelty Sahavaaran valumavesi PAF-sivukivestä	Käsitelty Sahavaaran tyhjennysvesi
pH		10,5	10,5
Emäksisyys		1,38	1,03
Al	90 %	2,61	0
As	90 %	0,0068	0,0006
Ba		0,055	0,041
Ca		469,35	68,99
Cd	90 %	0,000012	0,000009
Cl		5,66	4,25
Co	90 %	0,0139	0,0048
Cr	90 %	0,0125	0,0051
Cu	90 %	0,018	0,002
F		0,39	0,29
Fe	90 %	109,76	3,28
Hg		0,00001	0,0000075
K		36,25	8,36
Mg		226,04	69,29
Mn		4,96	0,56
Mo	90 %	0,068	0,025
Na		118,41	7,16
NH4_N		1,1	1,1
Ni	90 %	0,68	0,05
NO3_N		3,36	3,36
Ntot		4,89	4,89
Pb	90 %	0,021	0,002
PO4_P		1,25	0,93
Sb		0,06	0,11
SO4	70 %	1237,64	160,94
Sr		0,21	0,16

U	90 %	0,017	0,012
Zn	90 %	0,032	0,053

4.0 TULOKSET

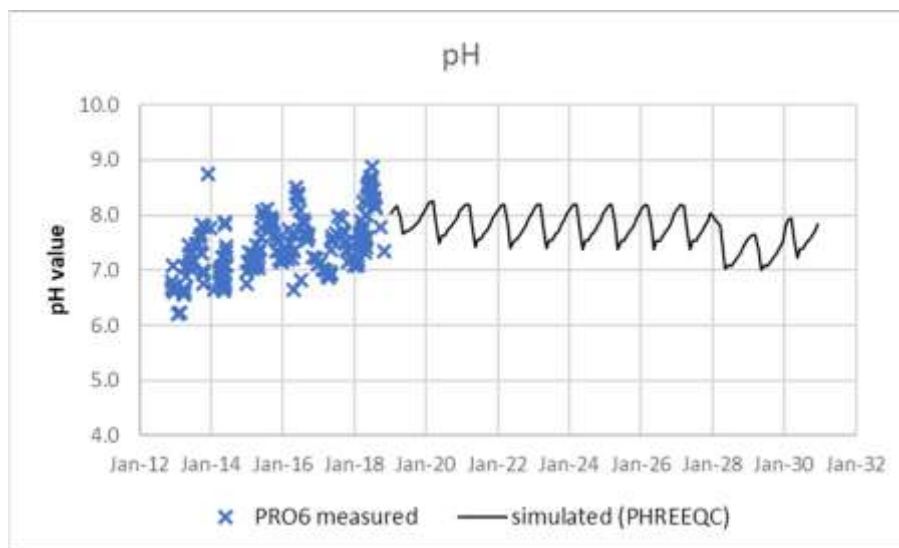
Seuraavassa kohdassa esitellään kuljetussimulointien tulokset ja keskustellaan niistä. Esitetyt GoldSimistä ovet keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo) laskettuna 1000 Monte Carlo realisaatiosta (mallinnusajosta) tulokset PHREEQC:stä perustuvat sekoitusfraktioihin, jotka on johdettu kuukausittaisista keskiarvoista 1000 GoldSim Monte Carlo virtaamanopeuden ja patotilavuuksien realisaatiosta.

4.1 Perustapausskenaario

4.1.1 Veden laadun kehitys selkeytysaltaassa

Kuten menetelmäkohdassa mainittiin, pH simuloitiin ainoastaan PHREEQC:n avulla. pH-arvon simuloitu kehitys esitetään kuvassa 3, jossa sitä verrataan historiallisesti havaittuihin tietoihin, jotka on mitattu selkeytysaltaasta (valvontapiste PRO6). Vuosina 2019–2027 simuloitu pH vaihtelee 7,5 ja 8,3 välillä samalla tavalla kuin valvontapisteessä havaitut tiedot. Tämä vaihtelu johtuu rikastushiekan, huonosti puskuroivan sateen ja prosessivesialtaan sekä selkeytysaltaan jäänmuodostuksen muutoksista alkalisen valumaveden virtaamanopeuteen. Happamamman Sahavaaran rikastushiekan valumaveden tulovirtaamilla vuonna 2021 ja siitä eteenpäin on pieni vaikutus pH-arvoon selkeytysaltaassa koska saatavilla on riittävästi emäksisyyttä. Vuosina 2028–2030, kun Tapulin kaivoksen toiminta on päättynyt ja ainoastaan Sahavaara ja Palotieva ovat aktiivisia, pH laskee arvoon 7,0–8,0 koska alkaliset tulovirtaamat Tapulin rikastushiekasta ovat loppuneet.

PHREEQC laskee myös liuosten välisen lataustasapainon standardina. Prosentuaalinen kationivirhe – anioneja sekoitetussa vedessä selkeytysaltaassa vaihtelee -7,8 % ja +8,4 % välillä, mikä on indikaattori siitä, että kaikki suuremmat kat- ja anionit ovat sisältyneet laskelmaan.



Kuva 3: pH:n kehitys selkeytysaltaassa perustapausskenaariossa.

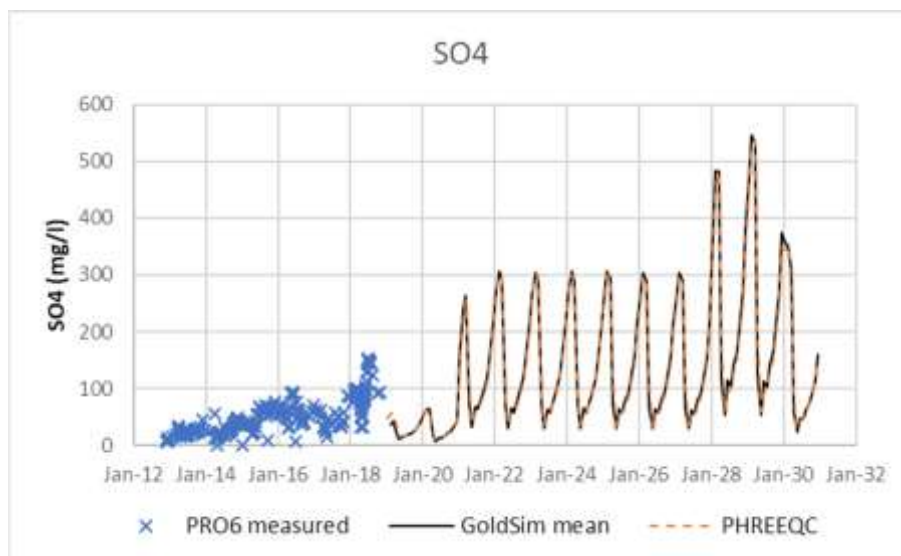
Kaikki muut liuokset (pH:n lisäksi) on simuloitu sekä GoldSimissä että PHREEQC:ssä. Simuloitu

sulfaattipitoisuuden kehitys selkeytysaltaassa, yhdessä valvontapisteen PRO6 tietojen kanssa, on esitetty kuvassa 4. Simuloiduista tiedoista näkyy kolme selkeää vaihetta. Vuosien 2019 ja 2020 välillä (vaihe 1) simuloitu sulfaattipitoisuus (sekä aritmeettisin keinoin GoldSim- ja PHREEQC-simuloinnista) vaihtelee 20 mg/L ja 65 mg/L välillä, ollen yhtäläisiä uudemmissa mitatuissa valvontatiedoissa mitattujen arvojen kanssa. Vuosien 2021 ja 2028 välillä (vaihe 2) sulfaattipitoisuus kasvaa arvoon, joka on 40 ja 300 mg/L välillä Sahavaaran vaahdotusketjusta tulevan veden vuoksi.

Vuoden 2028 jälkeen (vaihe 3), huippupitoisuudet nousevat 540 mg/L saakka, jolloin kaikki rikastushiekan valumavesi on peräisin sulfaattirikkaasta Sahavaaran ja Palotievan rikastushiekasta.

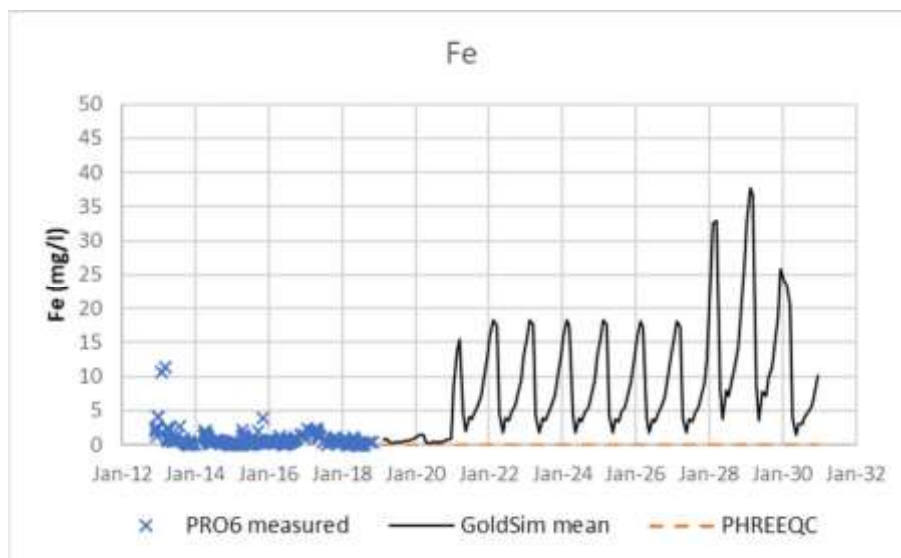
GoldSimin ja PHREEQC:n sulfaatin simuloinnissa on hyvä korrelaatio, koska sulfaatti ei saostu tai absorboitu selkeytysaltaassa vallitsevissa olosuhteissa. Pienehköjä poikkeamia tapahtuu erilaisten aika-askellusten (päivittäiset GoldSimissä ja kuukausittaiset PHREEQC:ssä) vuoksi.

Simuloidut vuosittaiset vaihtelut johtuvat eri vesityyppien muuttuneista attribuuteista selkeytysaltaan kokonaisvesitaseessa sekä jäänmuodostuksesta ja sulamisesta. Korkeimmat pitoisuudet joka vuosi havaitaan huhtikuussa, jolloin jäänmuodostus on suurimmillaan. Jään syntyminen (koostuu puhtaasta vedestä ilman minkäänlaisia liuoksia) johtaa siihen, että sama liuenneiden aineiden kokonaismassa on pienemmässä vesimäärässä ja pitoisuus lisääntyy. Keväällä jään sulaessa sulaneella vedellä on laimentava vaikutus, jolloin pitoisuuksien havaitaan pienenevän.



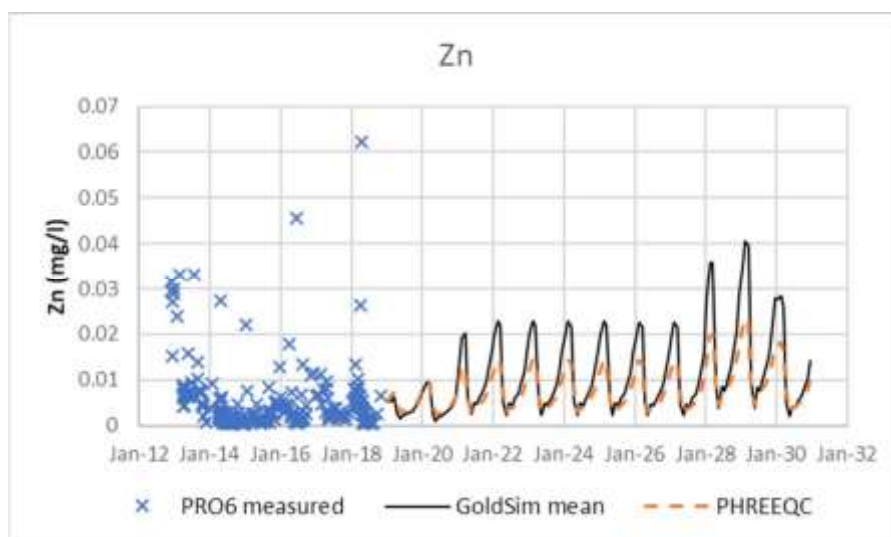
Kuva 4: Sulfaattipitoisuuden kehitys selkeytysaltaassa perustapausskenaariossa.

Rautapitoisuudet esitetään kuvassa 5. GoldSim, joka simuloi konservatiivista (vaimentamaton) raudan kuljetusta, ennustaa pitoisuuksia aina 1.5 mg/L saakka vuosien 2019–2020 aikana, huippupitoisuuksien noustessa aina 18 mg/L saakka vuosina 2012–2027 ja jopa 38 mg/L vuosina 2028–2030. Nämä pitoisuudet ovat kohtuuttoman korkeita alkaliselle pH:lle ja happiolosuhteille selkeytysaltaassa, jossa kaikkien rautaionien odotetaan saostuvan ferrihydriitiksi. Ferrihydriitin saostumista alkalisessa pH:ssa selkeytysaltaassa simuloivat PHREEQC-laskelmat indikoivat paljon alhaisempia pitoisuuksia koko simulointijakson aikana. Mallinnuksen PHREEQC:llä katsotaan täten olevan realistisempaa selkeytysaltaassa vallitsevissa olosuhteissa.



Kuva 5: Rautapitoisuuden kehitys selkeytysaltaassa perustapausskenaariossa.

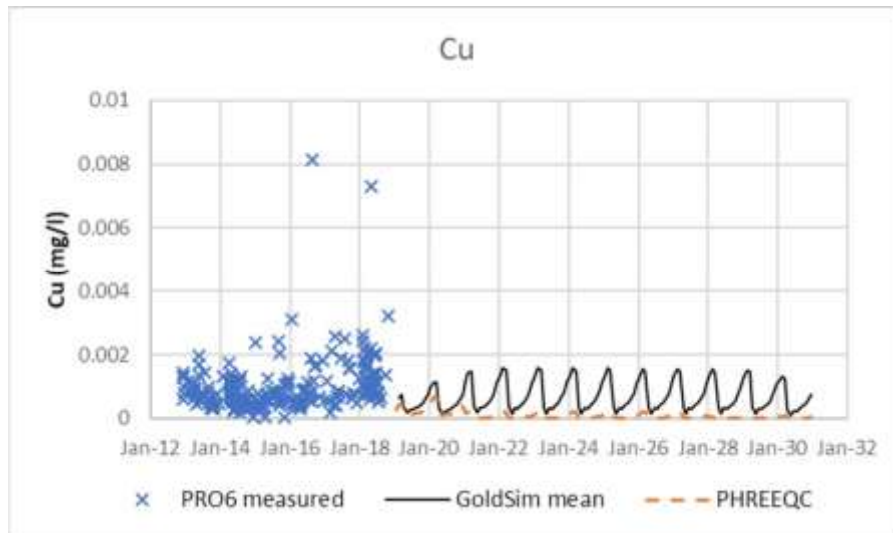
Simuloitu sinkkipitoisuus selkeytysaltaassa ja valvontatiedot PRO6:sta esitetään kuvassa 6. GoldSimin mallinnuksesta käy ilmi, että vuosina 2019 ja 2020 sinkkipitoisuus vaihtelee aina 0.01 mg/L saakka (yhtäläisesti saatavilla olevien valvontatietojen kanssa). Vuosien 2021 ja 2027 välillä huippupitoisuus nousee 0.02 mg/L suuremman Sahavaaran rikastushiekasta tulevan sinkkikuormituksen takia. Vuoden 2028 jälkeen huippupitoisuus nousee 0.04 milligrammaan/L, lähinnä siksi, että valuma Tapulista on lakannut ja kaikki valumavesi on peräisin Sahavaaran ja Palotievan malmista. PHREEQC ennustaa alempia pitoisuuksia kuin GoldSim vuonna 2021 ja siitä eteenpäin, koska noin puolet sinkistä absorboituu selkeytysaltaassa saostuvaan ferrihydriittiin. On tärkeää huomioida, että sekä GoldSim että PHREEQC simuloivat liuennutta eivätkä biosaatavaa sinkkiä, jonka pitoisuuksien odotetaan olevan paljon pienempiä.



Kuva 6: Sinkkipitoisuuden kehitys selkeytysaltaassa perustapausskenaariossa.

Kuparipitoisuudet esitetään kuvassa 7. GoldSim ennustaa jopa 0,0018 mg/L huippupitoisuuksia kaivoksen koko toiminta-ajalle. PHREEQC ennustaa paljon alhaisempia, enintään noin 0,0007 mg/L pitoisuuksia kuparin

saostuneeseen ferrihydriittiin tapahtuvan sorption vuoksi. Myös tässä tapauksessa simuloidaan liuennutta kuparipitoisuutta eikä biosaatavaa, jonka odotetaan olevan paljon alhaisempi.

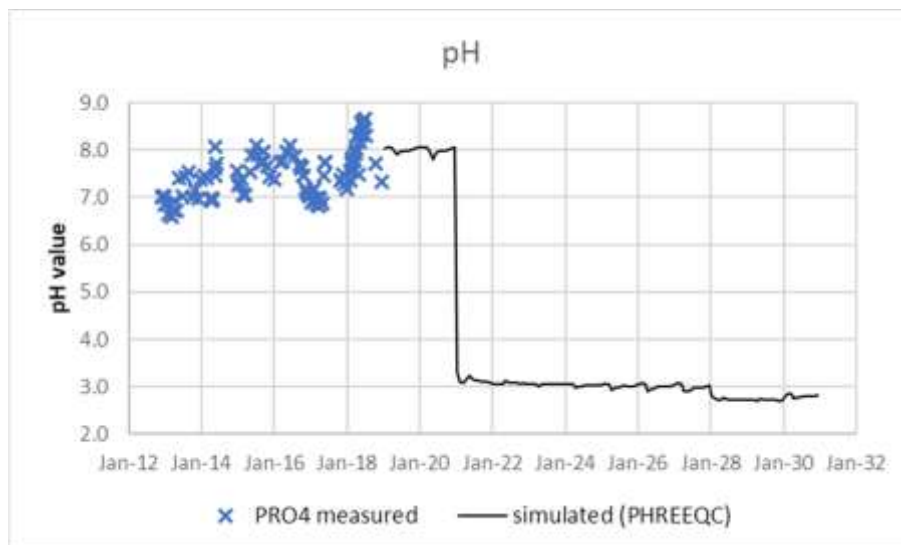


Kuva 7: Kuparipitoisuuden kehitys selkeytysaltaassa perustapausskenaariossa.

4.1.2 Veden laadun kehitys prosessivesialtaassa

Simuloitu pH:n (simuloitu PHREEQC:llä) kehitys esitetään kuvassa 8, jossa sitä verrataan historiallisiin pH-mittauksiin prosessivesialtaan valvontapisteessä PRO4. Vuosina 2019–2020 pH-arvo vaihtelee pH 8:n vaiheilla, hiljattain tehtyjen mittausten mukaisesti. Vuonna 2021 ja siitä eteenpäin, kun happamampi kaivosvesi Sahavaarasta tulee, tapahtuu merkittävä simuloidun pH-arvon lasku noin pH 3:een. Vuodesta 2028 ja siitä eteenpäin, kun Tapulin avolouhos on louhittu valmiiksi ja ainoastaan Sahavaaran ja Palotievan avolouhokset ovat aktiivisia, simuloitu pH-arvo laskee pH 2,8:aan.

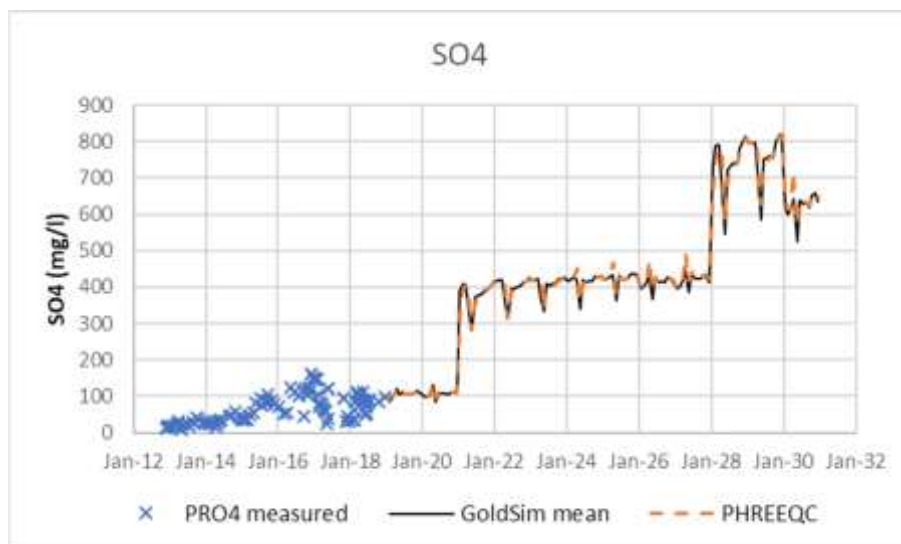
PHREEQC laskee myös lataustasapainon liuoksissa standardina. Prosentuaalinen kationien virhe – anionit sekoittuneessa prosessivesiallasvedessä vaihtelee +4,3 % ja +19,0 % välillä. On yleisesti hyväksyttyä, että lataustasapainon virhemarginaalit +20 % välillä ovat tavallisia analyttisissä tuloksissa, mikä indikoi sitä, että kaikki suuremmat kat- ja anionit ovat sisältyneet laskelmiin.



Kuva 8: pH-arvon kehitys prosessivesialtaassa perustapausskenaariossa

Simuloitu sulfaattipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa valvontapisteestä PRO4 yhdessä saatavilla olevien tietojen kanssa tilitetään kuvassa 9. Vuosina 2019 ja 2020 sulfaattipitoisuuden on ennustettu vaihtelevan 100 mg/L vaiheilla, hiljattain tehtyjen mittausten mukaisesti. Vuosina 2019–2028, kun Sahavaaran kaivos on toiminnassa, sulfaattipitoisuuden odotetaan nousevan 400 milligrammaan/L Sahavaaran malmin korkeamman sulfaattipitoisuuden vuoksi. Vuodesta 2028 eteenpäin, kun Tapulin avolouhos on louhittu valmiiksi ja ainoastaan Sahavaara ja Palotieva ovat käynnissä, sulfaattipitoisuuden odotetaan lisääntyvän vielä 820 milligrammaan/L.

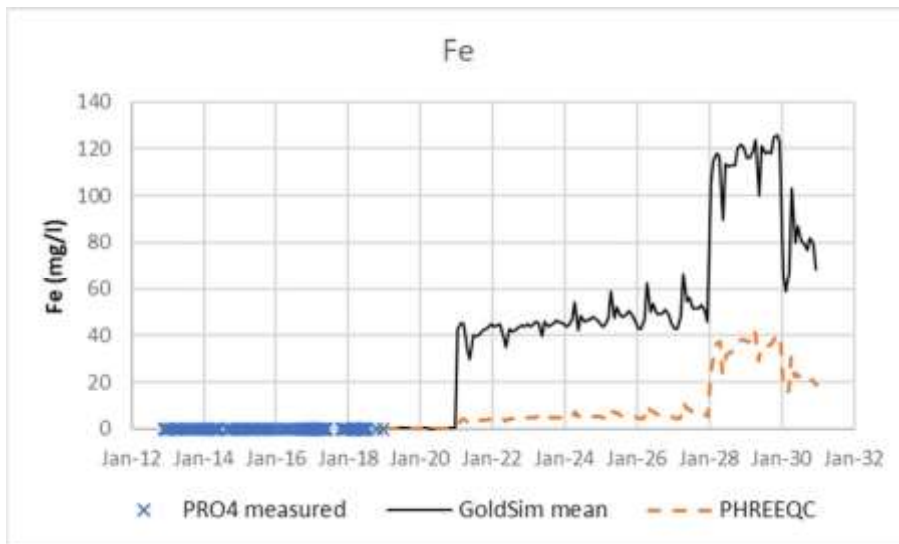
Selkeytysaltaan tapaan johtuvat simuloitujen pitoisuuden vaihtelut prosessivesialtaan kokonaisvesitaseeseen tulevien eri vesityyppien koostumuksien eroista sekä jään muodostuksesta ja sulamisesta prosessivesialtaassa.



Kuva 9: Sulfaattipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa perustapausskenaariossa.

Rautapitoisuus tilitetään kuvassa 10. Vuosille 2019–2020 sekä GoldSim että PHREEQC ennustavat matalia

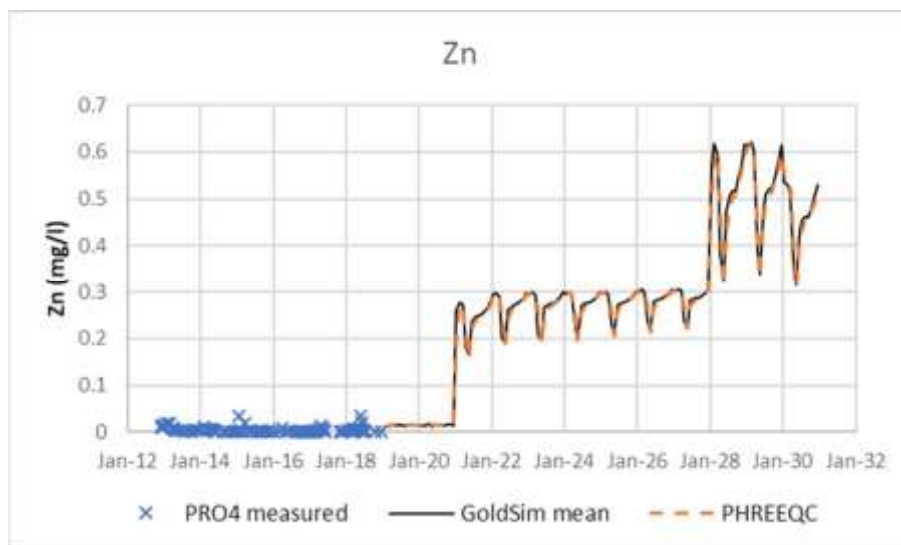
Fe-pitoisuuksia, noin 0.4 mg/L, PRO6:sta saatujen valvontatietojen mukaisesti. Tämä johtuu emäksisestä pH-arvosta, jolloin raudan liukeneminen on hyvin vähäistä. Vuodesta 2021 eteenpäin, kun happamampi vesi Sahavaarasta tulee prosessivesialtaaseen, rautapitoisuus lisääntyy voimakkaasti. Vaimentamaton GoldSim simulointi ennustaa pitoisuuksia 30 ja 66 mg/L välillä vuodesta 2021 vuoteen 2027 Sahavaarasta tulevan suuremman rautakuormituksen takia. PHREEQC ennustaa alempia pitoisuuksia, noin 10 mg/L samalle ajanjaksolle ferrihydriitin saostumisen perusteella. Vuodesta 2028 vuoteen 2030 pitoisuus lisääntyy edelleen. GoldSim simuloi enintään 125 mg/L pitoisuuksia, kun taas PHREEQC simuloi pitoisuuden lisääntyvän enintään 40 milligrammaan/L ferrihydriitin saostumisen vuoksi.



Kuva 10: Rautapitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa perustapausskenaariossa.

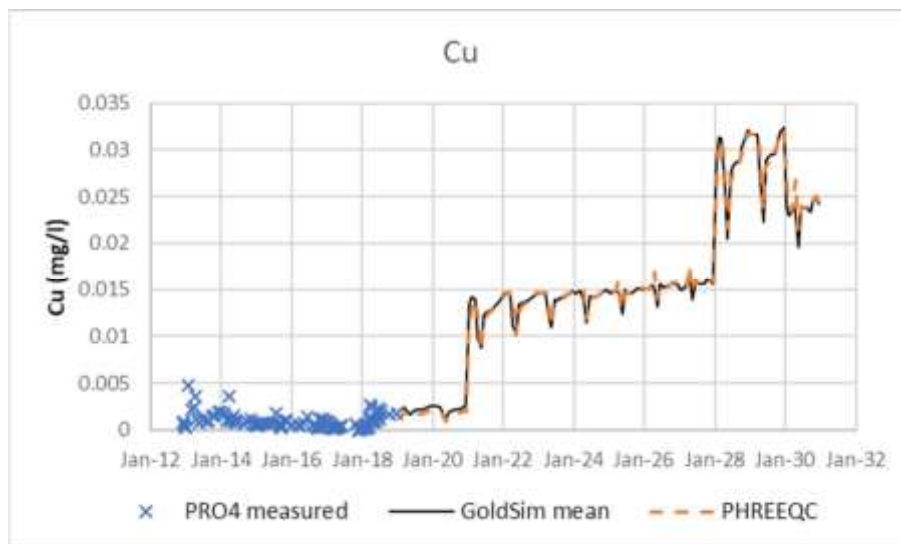
Sinkkipitoisuudet tilitetään kuvassa 11. Vuosille 2019–2020 GoldSimin ja PHREEQC:n simuloimat pitoisuudet prosessivesialtaassa vastaavat suunnilleen hiljattain todettuja noin 0,015 mg/L pitoisuuksia. Vuodesta 2021 eteenpäin, kun Sahavaaran kaivos on käynnissä, sinkkipitoisuuden odotetaan lisääntyvän 0,2–0,3 milligrammaan/L. Kun Palotievan avolouhos liitetään mukaan 2029 odotetaan pitoisuuden nousevan 0,6 milligrammaan/L. Huomaa, että tulokset edustavat liuennutta kokonaispitoisuutta eikä biosaatavaa sinkkiä, jolta odotetaan paljon pienempiä pitoisuuksia.

Perustapausskenaariossa ovat GoldSimin ja PHREEQC:n erot paljon pienempiä prosessivesialtaassa kuin selkeytysaltaassa. Kun pH on alempi, kuten prosessivesialtaassa, sorptiopaikoilla on paljon pienemmät negatiiviset varaukset kuin emäksisessä pH:ssa ja paljon pienempi hivenmetallien sorptio saostuneeseen ferrihydriittiin.



Kuva 11: Sinkkipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa perustapausskenaariossa.

Kuparipitoisuuden kehitys (kuva 12) muistuttaa sinkin kehitystä, paitsi paljon pienemmillä pitoisuuksilla. Vuodesta 2019 vuoteen 2020 sekä GoldSim että PHREEQC ennustavat enintään 0,002 mg/L pitoisuuksia, kuten hiljattain havaituissa tiedoissa PRO6:sta. Vuosien 2020–2027 välillä odotetaan pitoisuuksien lisääntyvän 0,002–0,018 milligrammaan/L ja vuosina 2028–2030 lisääntyvän 0,020–0,032 milligrammaan/L. Ero GoldSimin ja PHREEQC:n simulointien välillä on hyvin pieni, mikä johtuu pelkistävästä sorptiosta ferrihydriittiin happamissa pH-arvoissa.



Kuva 12: Kuparipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa perustapausskenaariossa.

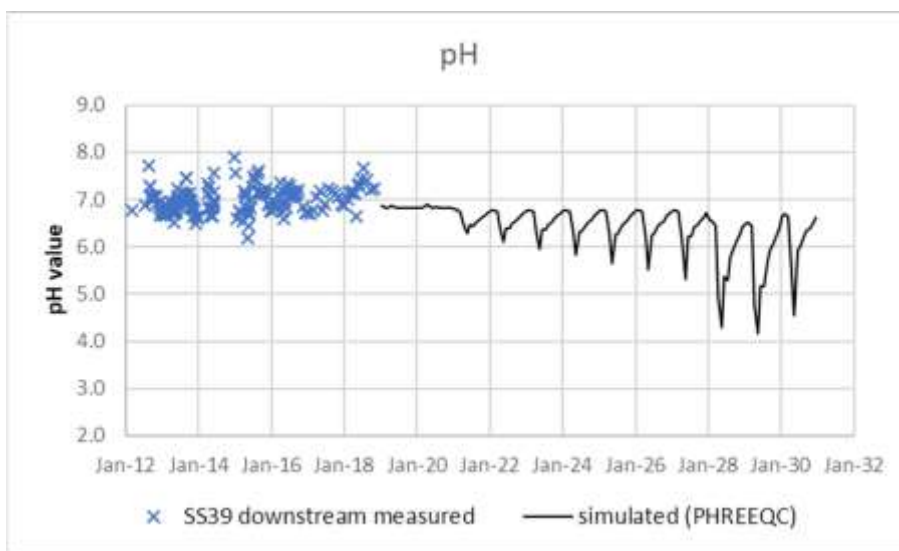
4.1.3 Veden laadun kehitys Muonionjoessa

Kuten kohdassa 3.0 mainittiin, selkeytysaltaasta Muonionjokeen purettavan kaivosveden vaikutuksen on simuloitu tapahtuvan asteittaisena sekoittumisprosessina. GoldSim ja PHREEQC mallintavat ensin kaivosveden sekoittumista noin 5 prosenttiin joessa virtavasta vedestä, mikä on ekvivalentti oletettujen olosuhteiden kanssa alavirtaan olevassa valvontapisteessä SS39. Tämän jälkeen simuloivat mallit tämän veden sekoittumisen loppuihin 95 prosenttiin Muonionjoen virtaamasta, mikä on ekvivalentti alavirtaan

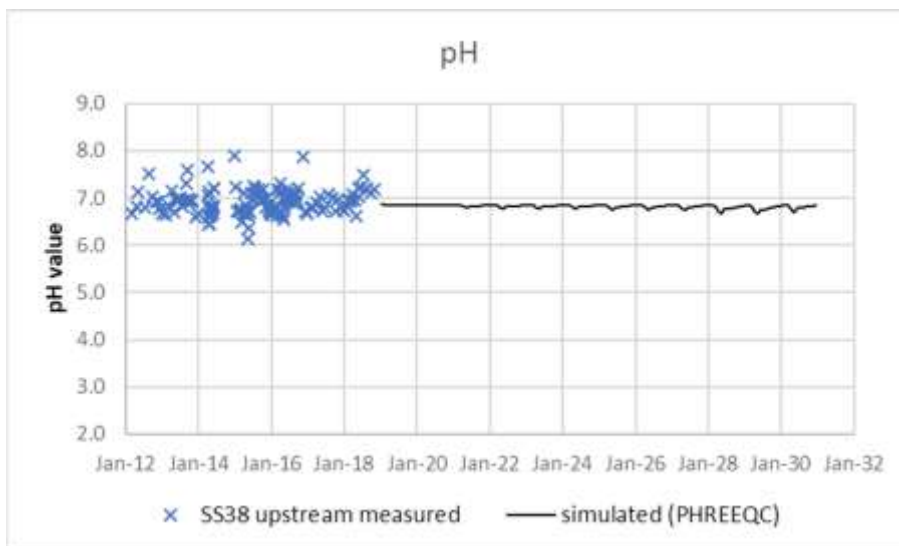
tapahtuvan täydellisen sekoittumisen kanssa.

PHREEQC:llä simuloitu pH-arvo 5 % sekoittumiselle Muonionjokeen tilitetään kuvassa 13 yhdessä valvontapisteestä SS39 mitattujen arvojen kanssa. Simuloitu pH vuosina 2019–2020 on noin pH 6,9 toimintavaiheen aikana, mikä vastaa valvontapisteessä SS39 mitattuja arvoja. Vuodesta 2021 eteenpäin, kun purkuveden pH-arvon oletetaan olevan happamampi, ennustetaan pH-arvon SS39:ssä (5 % sekoittuminen) laskevan sesonkiminimiin toukokuussa joka vuosi, kun purkamisen on suurimmillaan lumen sulamisen takia. Vuosittainen minimi laskee pH 6,3:sta vuonna 2021 pH 4,3:een vuonna 2029.

Kuvassa 14 esitetyssä 100 % sekoittumisessa jokeen kaivoksen päästöjen vaikutus joen veden laatuun on paljon pienempi. Simuloitu pH-arvo on noin pH 6,8 koko toimintavaiheen ajan minimin ollessa noin pH 6,7 keväällä joka vuosi. Simuloituja arvoja on vertailtu mitattujen vedenlaatuarvojen kanssa ylävirtaan (SS38) purkupisteestä ja ne sijoittuvat mitatun intervallin keskiväliin.

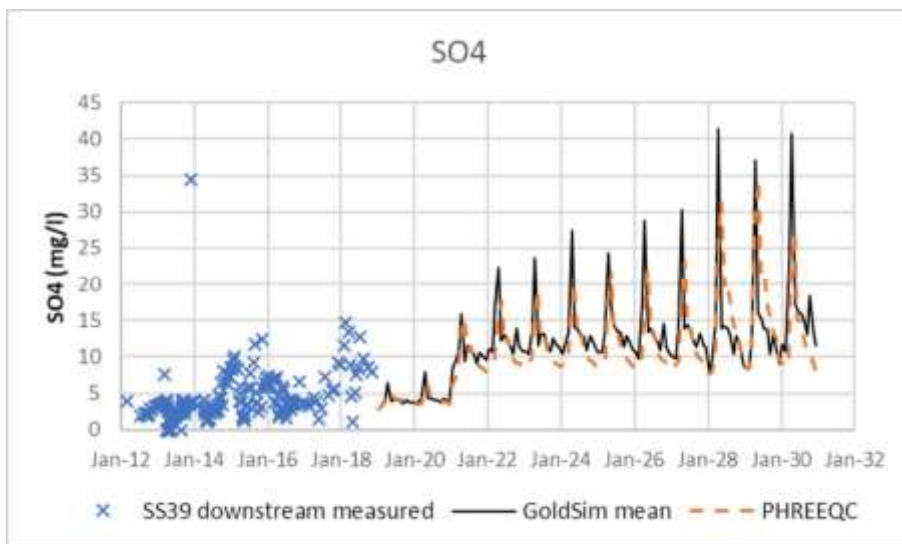


Kuva 13: pH:n kehitys Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista perustapausskenaariossa.

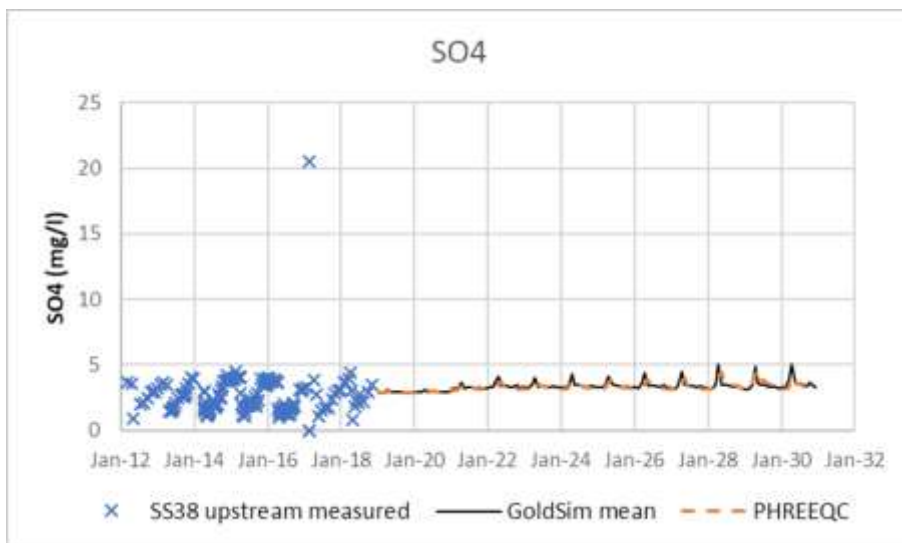


Kuva 14: pH:n kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoittumista perustapausskenaariossa.

Simuloitu sulfaattipitoisuus joessa 5 % ja 100 % sekoittumisessa tilitetään kuvassa 15 ja kuvassa 16. 5 % sekoittumisessa sulfaattipitoisuus näyttää asteittain lisääntyvän kaivoksen toiminta-aikana huipun ollessa 42 mg/L. 100 % sekoittumisessa kaivosveden päästön vaikutus sulfaattipitoisuuteen on hyvin pieni maksimaalisen pitoisuuden ollessa noin 5 mg/L, samaan tapaan kuin pitoisuusintervallissa, joka on mitattu ylävirtaan purkupisteestä (SS38).



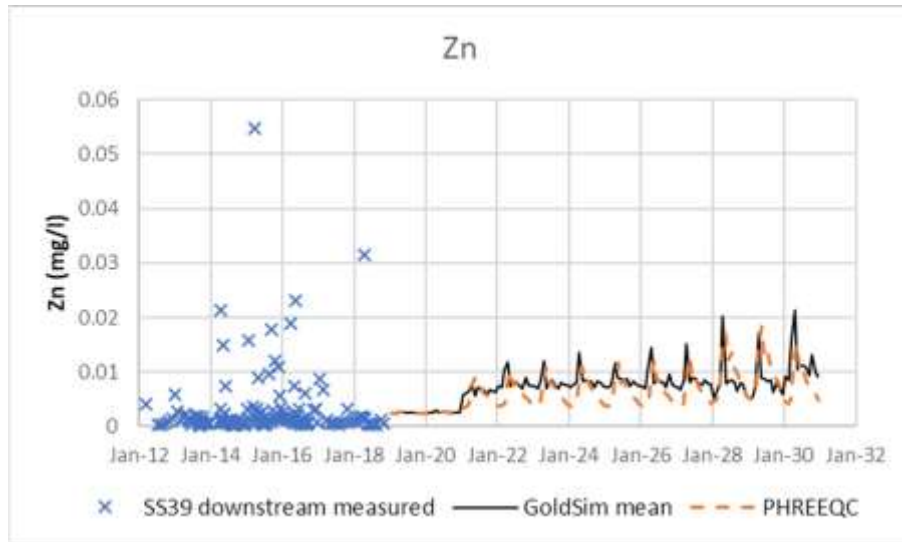
Kuva 15: Sulfaattipitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista perustapausskenaariossa.



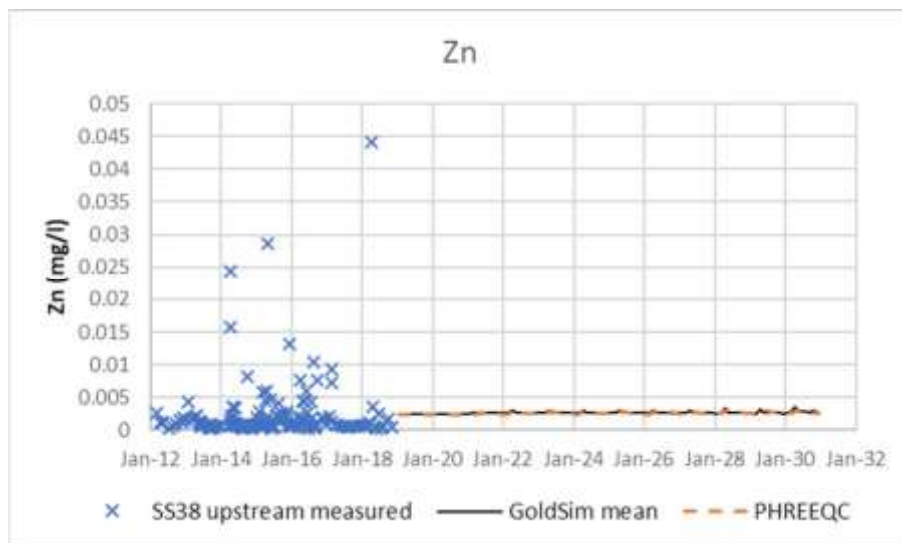
Kuva 16: Sulfaattipitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoitusta perustapausskenaariossa.

Vastaavanlainen tilanne on ennustettu sinkkipitoisuudelle (kuva 17 ja kuva 18). 5 % sekoittumisessa sinkkipitoisuus lisääntyy asteittain toimintavaiheen aikana enintään 0,022 mg/L huippupitoisuuksiin. Nämä

arvot edustavat liuenneita pitoisuuksia, ei biosaatavaa sinkkipitoisuutta, jonka odotetaan olevan paljon pienempi. 100 % sekoittumisessa kaivosveden päästöjen vaikutus joen sinkkipitoisuuteen on myös pienempi keskipitoisuuden ollessa pienempi kuin 0,003 mg/L sekä GoldSimin että PHREEQC:n ennusteen mukaan.

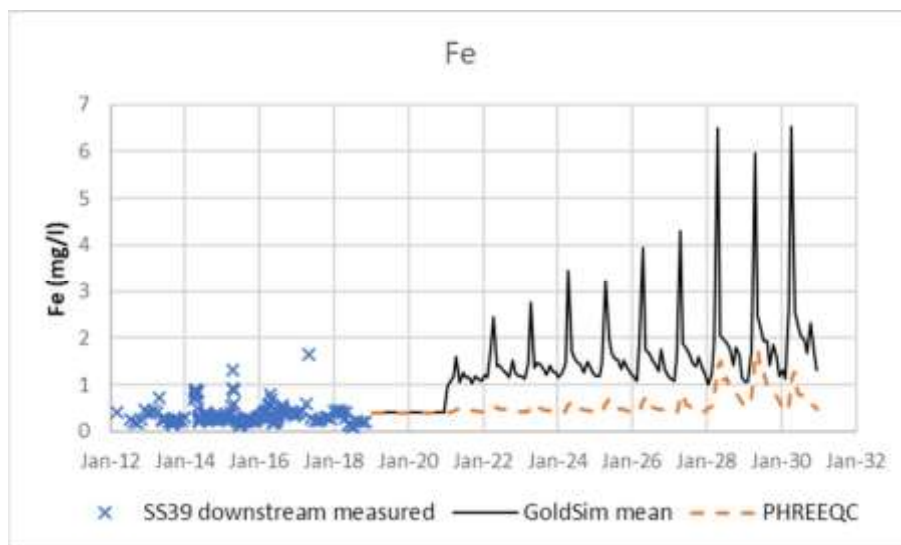


Kuva 17: Sinkkipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 5 % sekoittumisella perustapausskenaariossa.

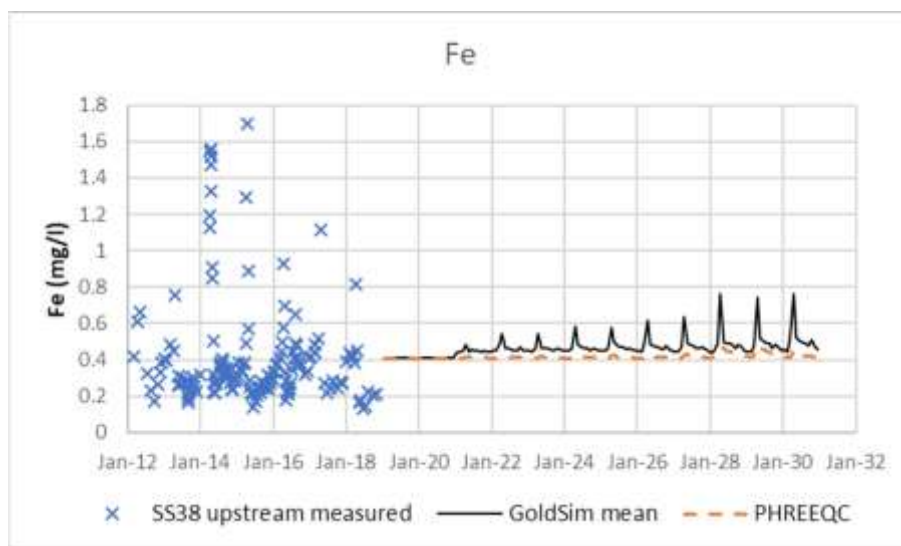


Kuva 18: Sinkkipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 100 % sekoittumisella perustapausskenaariossa.

Ennustetut rautapitoisuudet 5 % sekoittumisessa (kuva 19) lisääntyvät 0.4 mikrogrammasta/L (mikä on keskimääräinen tausta-arvo purkupisteestä ylävirtaan, valvontapisteessä SS38) 6,5 milligrammaan/L vaimentamattomassa GoldSim-simuloinnissa ja 1,8 milligrammaan/L PHREEQC:ssä, joka ottaa huomioon ferrihydriitin saostumisen. 100 % sekoittumisessa (kuva 20) huippupitoisuus nousee 0,8 mikrogrammaan/L GoldSimissä ja ainoastaan 0,5 milligrammaan/L PHREEQC:ssä.

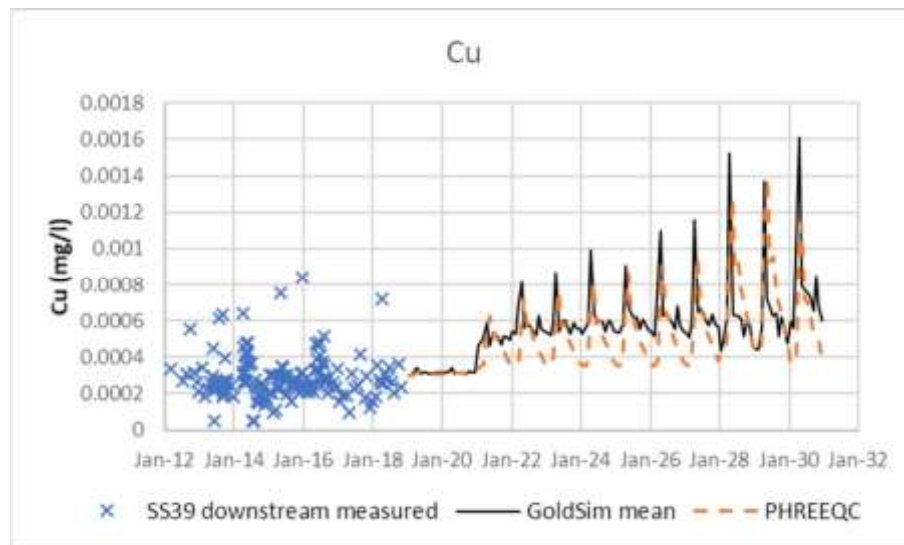


Kuva 19: Rautapitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 5 % sekoittumisella perustapausskenaariossa.

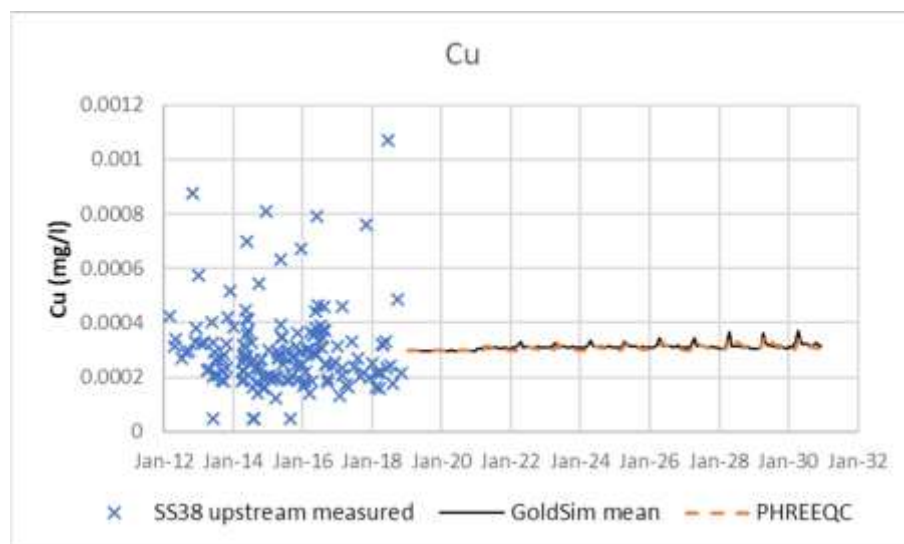


Kuva 20: Rautapitoisuuden kehitys Muonionjoessa 100 % sekoittumisella perustapausskenaariossa.

Kuparipitoisuus 5 % sekoittumisella simuloidaan sekä GoldSimissä ja PHREEQC:ssä (Kuva 21) noin 0,0003 mg/L pitoisuuksiin vuosina 2019–2020, ollen yhtäläisiä historiallisten keskiarvojen kanssa ylävirtaan purkupisteestä, valvontapisteessä SS38. Vuodesta 2020 ja eteenpäin kuparipitoisuus lisääntyy asteittain huippujen ollessa keväällä lumen sulaessa noin 0,0016 mg/L GoldSimissä ja 0,0014 mg/L PHREEQC:ssä. Nämä arvot edustavat liuenneita pitoisuuksia, eivät biosaatavaa kuparipitoisuutta, jonka odotetaan olevan paljon pienempi. 100 % sekoittumisessa (kuva 22) lisääntyy kuparipitoisuus marginaalisesti yli taustapitoisuuden, 0,00037 mg/L GoldSimissä ja 0,00035 mg/L PHREEQC:ssä.



Kuva 21: Kuparipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 5 % sekoittumisella perustapausskenaariossa



Kuva 22: Kuparipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 100 % sekoittumisella perustapausskenaariossa.

4.1.4 Ympäristölaatu­normit Muonionjoessa

4.1.4.1 Kaivosveden purkaminen

Tilastollisen kaivoksen päästöjen veden laadun vertailu, Muonionjoessa 5 % ja vastaavasti 100 % sekoittumisen jälkeen HVMFS 2013:19 ympäristölaatu­normien (EQS) raja-arvoihin tilitetään taulukossa 11. Tilasto on laskettu GoldSimin tuloksista elleivät ne korrespon­den­soi PHREEQC:stä saatujen tulosten kanssa (pH, emäksisyys, Cr, Cu, Fe, U, Zn, K ja Na). Jokaiselle vesityypille tilitetään kolme tilastollista laskelmaa: a) keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo) simuloitu koko operatiiviselle jaksolle, b) korkein keskiarvo kalenterivuoden aikana ja c) maksimaalinen simuloitu pitoisuus operatiivisen vaiheen aikana. Koskien HVMFS 2013:19 EQS-raja-arvojen ylitystä; jos vuosikeskiarvo EQS:lle ylitetään, pitoisuus on merkitty punaisena soluna ja jos EQS:n mukainen enimmäispitoisuus ylitetään, teksti on kursivoitu ja puolilihava.

Kaivoksesta puretussa sekoittumattomassa vedessä As:n simuloitu keskiarvo ja vuosittainen As:n enimmäispitoisuus ylittää vuosikeskiarvolle asetetut ympäristölaatu­normit. Vastaavanlainen tilanne havaittiin seuraaville aineille: Cr, Cu, U ja Zn, joiden simuloitujen keskipitoisuu­det ja vuosittaiset enimmäispitoisuu­det ylittävät ympäristölaatu­normien mukaisen sallitun vuosikeskiarvon. Sinkille ja kuparille ovat voimassa ainoastaan ympäristölaatu­normien biosaatavat pitoisuu­det, kun GoldSim-malli simuloi metallien liuenneita pitoisuuksia.

Uraanin osalta korkein simuloitu pitoisuus kaivoksen purkuvedessä ylittää ympäristölaatu­normi HVMFS 2013:19:n mukaisen sallitun enimmäispitoisuuden.

Tulos PHREEQC:stä metalleille Cu, Fe, U ja Zn on yleensä alempi kuin tulos GoldSimistä, mutta antaa vastaavanlaisia arvioita potentiaalisista ongelmista noudattaen ympäristölaatu­normeja.

Kaikki muut parametrit sekoittumattomassa kaivosvedessä noudattavat HVMFS 2013:19:n mukaisia ympäristölaatu­normeja. HVMFS 2013:19:ssä ei sitä vastoin ole mitään raja-arvoa pH:lle. Tavallisesti Ruotsissa katsotaan pH-intervallin olevan pH 6 ja pH 8 välillä - pH 9 on hyväksytty regulatiivisesta perspektiivistä. Täten happamammat pH-arvot puretussa kaivosvedessä ennen sekoittumista Muonionjokeen voivat olla potentiaalisesti ongelmallisia.

4.1.4.2 Sekoittumisen jälkeen 5 %:iin Muonionjoen virtaamasta

5 %:iin sekoittumisessa, jonka odotetaan edustavan olosuhteita valvontapisteessä SS39, laskevat simuloitujen arvot huomattavasti laimentumisen takia. Kuitenkin Cu, U ja Zn osoittavat edelleen pitoisuuksia, jotka ylittävät ympäristölaatu­normien vuosikeskiarvon 5 %:n sekoittumisessa GoldSimin ja PHREEQC:n mallinnuksissa. Uraani ylittää edelleen HVMFS 2013:19 ympäristölaatu­normin enimmäispitoisuuksien raja-arvon Goldsimissa mutta ei PHREEQC:ssä.

4.1.4.3 Sekoittumisen jälkeen 100 %:iin Muonionjoen virtaamasta

100 %:nen sekoittumisessa jokeen, toisin sanoen alempana alavirrassa, perustapausskenaariossa kaikki simuloitujen parametrit jäävät HVMFS 2013:19 ympäristölaatu­normin alle sekä GoldSimin että PHREEQC:n laskelmissa. Poikkeuksena on uraani GoldSimissä, jossa U-pitoisuus ylittää marginaalisesti vuosikeskiarvon ja enimmäispitoisuuden raja-arvot. Enimmäispitoisuus taulukossa 11 on korkein simuloitu pitoisuus koska tahansa jonkin 1000 Monte Carlo realisaation aikana. 95-prosentuaalisella tasolla uranipitoisuus ei ylitä 0,00068 mg/L, toisin sanoen vähintään 95 %:ssa Monte Carlo realisaatioista enimmäisuraanipitoisuus on alle 0,00068 mg/L ja on täten HVMFS 2013:19:n enimmäispitoisuuksille asettamien ympäristölaatu­normien sallitun intervallin sisällä.

Taulukko 11: Tilasto veden laadusta perustapausskenaariossa puretussa kaivosvedessä 5 % sekoittumisen ja 100 % sekoittumisen jälkeen Muonionjoessa verrattuna HVMFS 2013:19 ympäristölaatonormien raja-arvoihin.

		Ympäristölaatonormit (HVMFS 2013:19)		Purettu kaivosvesi			5 % sekoittuminen Muonionjoessa			100 % sekoittuminen Muonionjoessa		
Parametri	Yksikkö	Vuosikeski- pitoisuus.	Enimmäis- pitoisuus	Kokonais- valtainen keskiarvo	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokonaisvaltainen enimmäisarvo	Kokonais- valtainen vuosi- keskiarvo	Kokonais- valtainen Enimmäis- arvo		Kokon. valtainen. keskiarvo	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokonais- valtainen enimmäis- arvo
					vuosikesi-							
pH (PHREEQC)	-			4,92	7,98	8,2	6,41	6,84	6,89	6,82	6,85	6,86
Emäksisyys (PHREEQC)	mg/l CaCO ₃			14,38	43,03	70,2	3,9	5,35	5,92	4,82	4,91	4,92
Al	mg/l			0,6	1,28	3,41	0,05	0,06	2,06	0,03	0,03	0,64
As	mg/l	0,0005	0,0079	0,0028 0,0017	0,005 0,0043	0,0099	0,00014	0,0002 0,00708		0,00005	0,00005	0,00216
As (PHREEQC)	mg/l	0,0005	0,0079			0,005	0,0001	0,00016 0,00034		0,00005	0,00005	0,00006
Ba	mg/l			0,04	0,044	0,111	0,009	0,009 0,038		0,008	0,008	0,029
Ca	mg/l			39,07	52,97	91,01	4,61	4,98	67,29	3,56	3,6	22,71
Cd	mg/l			0,00004 21	0,00006 09	0,00009 83	0,000004 00006 55	0,0000040, 97	59	0,000003 48	0,000003 52	0,00002 08

Cl	mg/l		50,1	67,87		282,63	2,11	2,2	43,42	0,78	0,79	30,34
Co	mg/l		0,02	0,034		0,058	0,00066	0,001 0,0416		0,00007	0,00009	0,01154
Cr	mg/l	0,0034	0,017 0,013	0,032 0,031		0,058	0,00074	0,00112 0,04197		0,00025	0,00027	0,01071
Cr (PHREEQC)	mg/l	0,0034	0,009 0,007	0,016 0,016		0,035	0,00064	0,00103 0,00202		0,00024	0,00026	0,00032
Cu	mg/l	0,0005*				0,03	0,00057 0,00076	0,02207		0,00031	0,00032	0,00668
Cu (PHREEQC)	mg/l	0,0005*				0,019	0,00051 0,00074	0,0014		0,00031	0,00032	0,00036
F	mg/l		0,219	0,318	0,825		0,00642	0,00734 0,23667		0,00034	0,00039	0,07666
Fe	mg/l		31,71	61,82	146,24		1,47	2,17	94,71	0,46	0,5	28,72



31

Andreas Lofgren, Erik Karlsson
Golder Sweden

Project No. 18109724
04/07/2019

		Ympäristölaatu normit (HVMFS 2013:19)		Purettu kaivosvesi			5 % sekoittuminen Muonionjoessa			100 % sekoittuminen Muonionjoessa		
Parametri	Yksikkö	Vuosikeski- pitoisuus.	Enimmäis- pitoisuus	Kokonais- valtainen keskiarvo	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokonnaisv. enimmäisarvo	Kokonais- valtainen vuosi- keskiarvo	Korkein Enimmäis- arvo	Kokonaisv. keskiarvo	Kokon. valtainen. keskiarvo	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokonais- valtainen Enimmäis- arvo
Fe (PHREEQC)	mg/l			4,9	19,73	23,2	0,56	0,96	1,75	0,42	0,44	0,48
Hg	mg/l			0,00002	0,00003	0,00005	0,00001	0,00001	0,00003	0,00001	0,00001	0,00002

K (PHREEQC)					1,34	1,53	1,96	0,67	0,68	0,7		
mg/l	27,72 30,81 62,5											
Mg	mg/l	45,66 62,51 110,17				2,39	2,69	68,35	1,08	1,1	26,65	
Mn	mg/l	0,403 0,739 1,713				0,017	0,021	0,602	0,0057	0,0059	0,1842	
Mo	mg/l	0,095 0,17 0,288				0,003	0,005	0,215	0,00042	0,00052	0,06221	
Na (PHREEQC)					2,57	2,83	4,2	1,47	1,48	1,56		
mg/l	44,73 55,46 93,4											
Ni	mg/l	0,25 0,47 0,96				0,0086	0,0146	0,683	0,00064	0,00096	0,20519	
NH ₄ -N	mg/l	0,79 0,84 1,66				0,0298	0,0335	0,8618	0,008	0,0082	0,6	
NO ₃ -N	mg/l	2,92 3,26 8,56				0,11	0,12	2,64	0,03	0,03	1,84	
N _{tot}	mg/l	4,58 5,09 13,04				0,33	0,34	4,11	0,21	0,21	2,91	
Pb	mg/l	0,0074 0,0142 0,0296				0,00029	0,00048	0,02102	0,00005	0,00006	0,00634	
PO ₄ -P	mg/l	0,31 0,55 0,93				0,0121	0,0176	0,6281	0,0034	0,0037	0,1551	
Sb	mg/l	0,05 0,07 0,12				0,005	0,0055	0,0891	0,0036	0,0037	0,034	
SO ₄	mg/l	292,16 474,46 792,45				12,02	16,2	579,85	3,33	3,57	176,09	
Sr	mg/l	0,102 0,116 0,222				0,019	0,02	0,115	0,017	0,017	0,066	
U	mg/l	0,00017	0,0086	0,038	0,071	0,126	0,0013	0,002	0,0914	0,00014	0,00018	0,02288
U (PHREEQC)	mg/l	0,00017	0,0086	0,028	0,065	0,075	0,001	0,0018	0,0039	0,00012	0,00017	0,00029

Zn	mg/l	0,0055*	0,165	0,317	0,561	0,0074	0,011	0,3977	0,0026	0,0028	0,0971
Zn (PHREEQC)	mg/l	0,0055*	0,121	0,285	0,323	0,0063	0,0098	0,0183	0,0026	0,0028	0,0033

*: biosaatavaa

4.2 Käsittelyskenaario

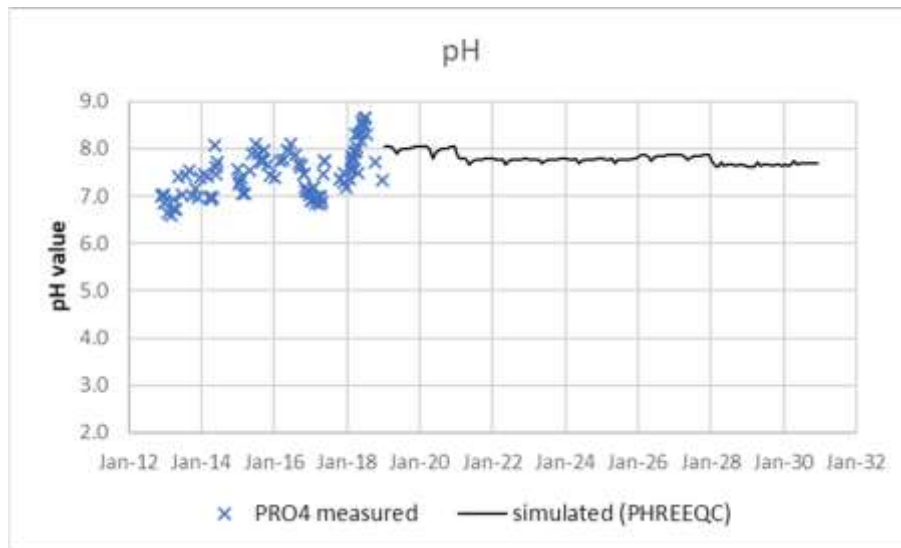
Käsittelyskenaariossa tyhjennysvesi Sahavaaran avolouhoksesta ja valumavesi PAF-sivukivistä puhdistetaan annostelemalla emästä pH 10,5:een (mahdollisesti yhdessä rautasulfaatin kanssa) ja sedimentoimalla ennen kuin se pumpataan edelleen prosessivesialtaaseen, mikä kuvataan kohdassa 3.6.

4.2.1 Veden laadun kehitys selkeytsaltaassa

Kun käsiteltyä vettä Sahavaarasta lisätään prosessivesialtaaseen, veden laatu selkeytsaltaassa on käsittelyskenaariossa samanarvoistettu perustapausskenaarion kanssa.

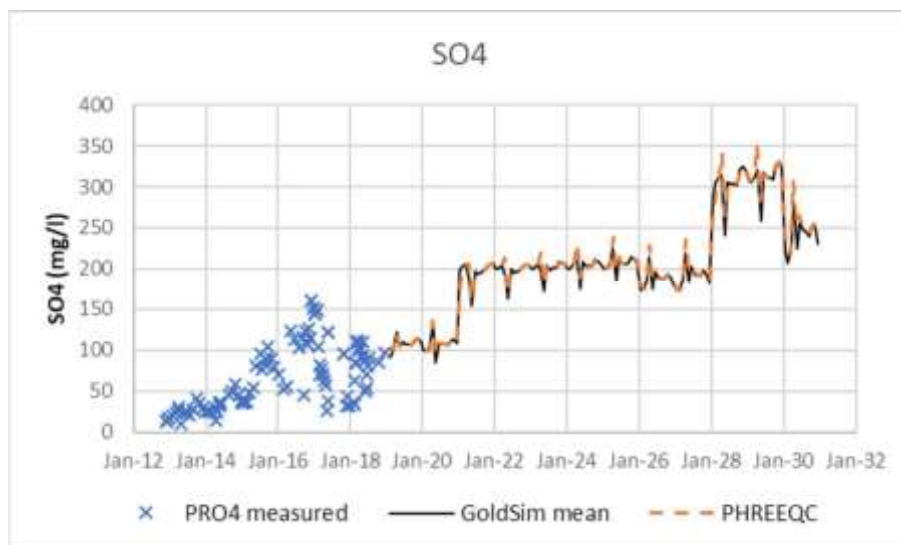
4.2.2 Veden laadun kehitys prosessivesialtaassa

PHREEQC:llä, simuloitu pH:n kehitys prosessivesialtaassa ja kontaktiveden käsittely Sahavaarassa ja PAF WRF tilitetään kuvassa 23, jossa sitä verrataan historiallisesti valvontapisteessä PRO4 mitattuihin pH-arvoihin. Veden laatu parantunut huomattavasti verrattuna perustapausskenaarioon. Vuosina 2019 ja 2020, kun ainoastaan Tapuli on aktiivinen, simuloitu pH-arvo vaihtelee pH 8:n vaiheilla, kuten mitatuissa arvoissa ja perustapausskenaariossa, koska käsittely ei vaikuta Tapulin kontaktiveteen. Vuodesta 2021 ja eteenpäin, kun käsitelty Sahavaaran vesi tulee järjestelmään, pH laskee marginaalisesti noin pH 7.8:aan. Vuodesta 2028 ja eteenpäin, kun Tapuli on louhittu valmiiksi ja ainoastaan Sahavaara ja Palotieva ovat käynnissä, pH voi laskea lisää noin pH 7.6:een.



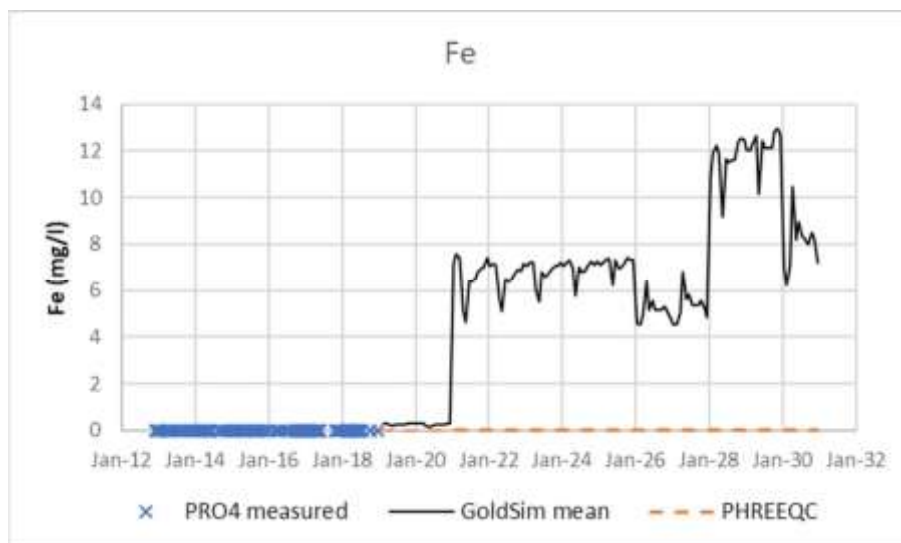
Kuva 23: pH-arvon kehitys prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa.

Simuloitu sulfaattipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa, yhdessä valvontapisteestä PRO4 saatavilla olevien tietojen kanssa, tilitetään kuvassa 24. Vuosina 2019–2020, ennustetavat GoldSim ja PHREEQC, että sulfaattipitoisuus vaihtelee noin 100 mg/L vaiheilla, kuten tulos perustapausskenaariossa. Vuosien 2019 ja 2028 välillä, kun Sahavaaran toiminta alkaa, pitoisuuden odotetaan lisääntyvän noin 200 mg/L arvoon, mikä on paljon alhaisempi kuin perustapausskenaariossa. Vuodesta 2028 ja eteenpäin, kun Tapulin toiminta on päättynyt ja ainoastaan Sahavaara ja Palotieva ovat käynnissä, pitoisuuden odotetaan nousevan arvoon 350 mg/L käsittelyskenaarion aikana, mikä on paljon pienempi kuin perustapausskenaariossa simuloitu noin 820 mg/L.



Kuva 24: Sulfaattipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa.

Rautapitoisuudet tilitetään kuvassa 25. Vuosina 2019–2020 ovat GoldSimin ja PHREEQC:n simuloinnit hyvin samanlaisia kuin simuloinnit perustapausskenaariossa ja tiedot valvontapisteessä PRO6 rautapitoisuuden ollessa alle 0.4 mg/L. Vuodesta 2021 ja eteenpäin, kun käsitelty vesi Sahavaarasta tulee prosessivesialtaaseen, rautapitoisuus lisääntyy paljon vähemmän kuin perustapausskenaariossa. Vaimentamaton GoldSim simulointi ennustaa pitoisuuksien olevan 4.5 ja 7.6 mg/L välillä vuodesta 2021 vuoteen 2027 ja 13 mg/l vuodesta 2028 vuoteen 2030 (perustapaussimuloinnissa GoldSim ennusti jopa 125 mg/L pitoisuuksia). PHREEQC ennustaa hyvin alhaisia rautapitoisuuksia, noin 0,0001 mg/L, kaivoksen koko toiminta-ajalle, jolloin ferrihydriitin liukenevuutta säädelään lähes neutraalilla pH:lla prosessivesialtaassa käsittelyskenaarion aikana.



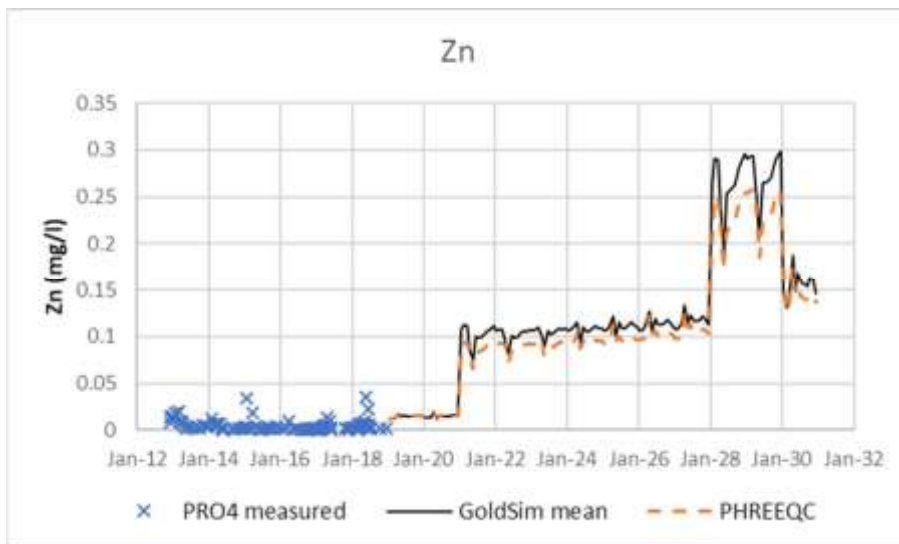
Kuva 25: Rautapitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa.

Sinkkipitoisuudet tilitetään kuvassa 26. Vuosina 2019–2020 ovat GoldSimin ja PHREEQC:n simuloidut sinkkipitoisuudet yhtäläisiä perustapausskenaariossa simuloitujen pitoisuuksien sekä hiljattain tehtyjen

mittausten noin 0,015 mg/L pitoisuuden kanssa. Vuodesta 2020 ja eteenpäin, kun Sahavaaran kaivos on käynnissä, sinkkipitoisuus lisääntyy noin 0.1 milligrammaan/L ja kun Palotievan kaivos käynnistyy vuonna 2029 sen odotetaan lisääntyvän 0.3 milligrammaan/L.

Nämä ovat liuenneita kokonaispitoisuuksia eivätkä biosaatavia pitoisuuksia, joiden odotetaan olevan paljon pienempiä.

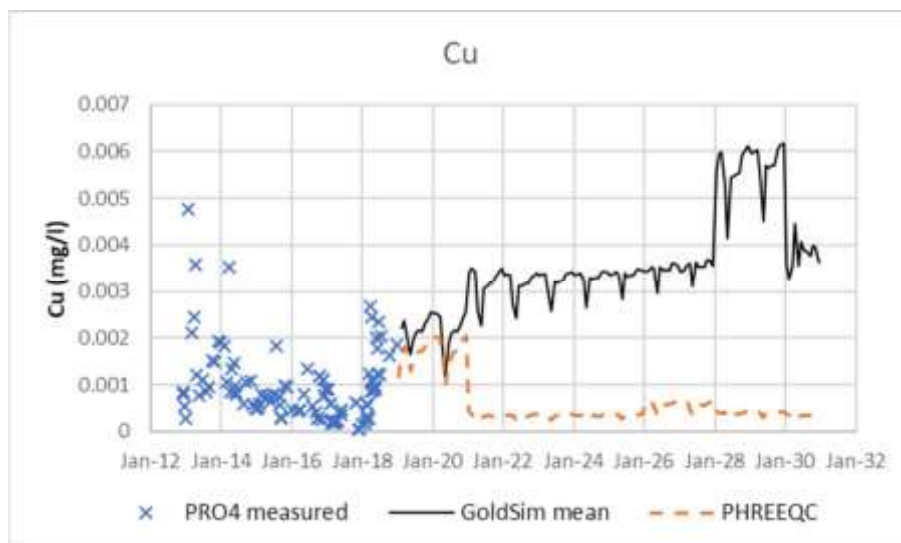
PHREEQC:ssä simuloitu sinkkipitoisuus on hieman pienempi kuin GoldSimissä simuloidut arvot, mikä johtuu lisääntyneestä sinkin sorptiosta ferrihydriittiin pH-neutraalissa prosessivesialtaassa.



Kuva 26: Sinkkipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa.

Kuparipitoisuuden kehitys käsittelyskenaariossa tilitetään kuvassa 27. Vuodesta 2019 vuoteen 2020 ennustavat GoldSim ja PHREEQC jälleen noin 0,002 mg/L pitoisuuksia, perustapausskenaarion tapaan. GoldSimissä, vuosina 2020–2027, kuparipitoisuus nousee 0,0035 milligrammaan/L ja vuosina 2028–2030 jopa 0,006 milligrammaan/L. Tämä on paljon pienempi kuin simuloidut pitoisuudet perustapausskenaariossa, jossa on simuloitu jopa 0.32 mg/L pitoisuuksia

PHREEQC ennustaa pienempiä pitoisuuksia kuin GoldSim lähinnä neutraaleissa pH-arvoissa ferrihydriittiin tapahtuvan sorption ansiosta. Vuosina 2019–2020 kuparipitoisuus vaihtelee 0,001 ja 0,002 mg/L välillä. Vuodesta 2021 ja eteenpäin osoittaa PHREEQC:n kuparipitoisuuden simulointi prosessivesialtaassa laskua 0,0007 milligrammaan/L, koska suurempi ferrihydriittipitoisuus saostuu prosessivesialtaassa mikä lisää merkittävästi saatavilla olevien sorptiopaikkojen lukumäärää.

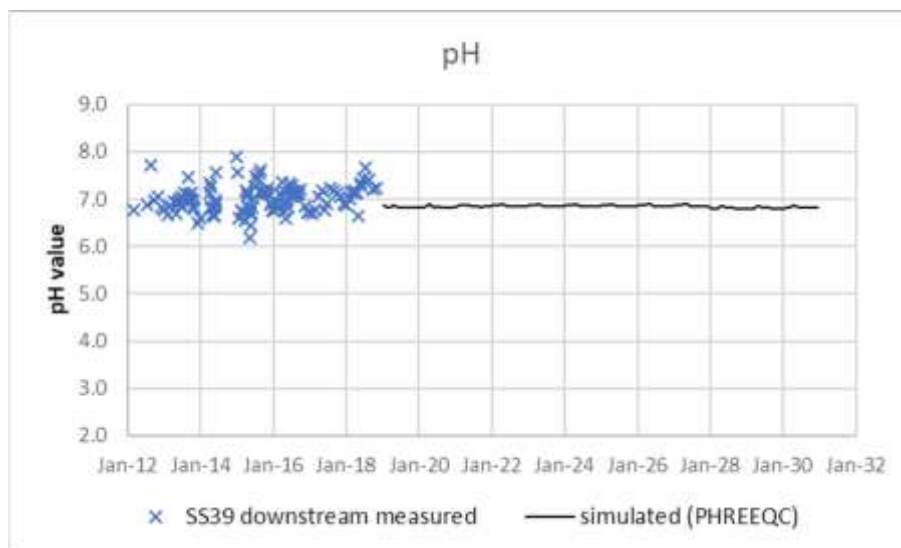


Kuva 27: Kuparipitoisuuden kehitys prosessivesialtaassa käsittelyskenaariossa.

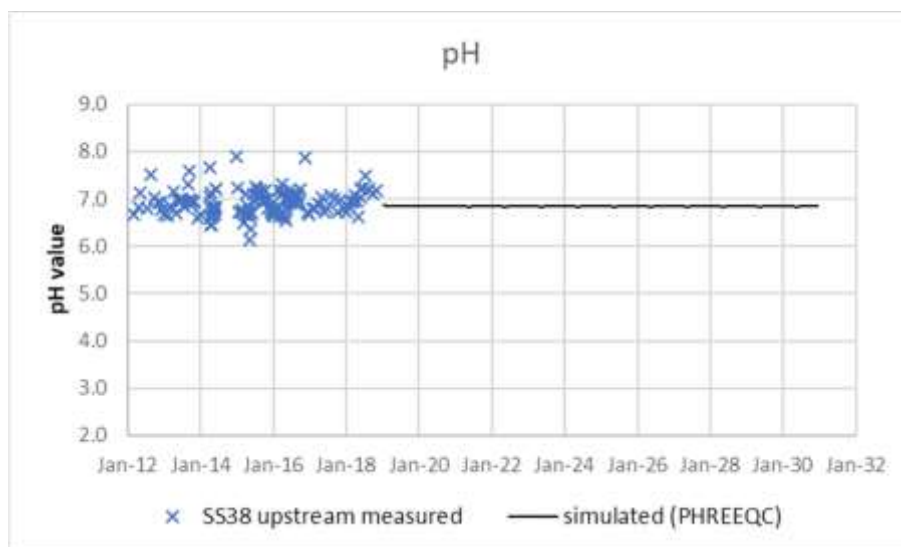
4.2.3 Veden laadun kehitys Muonionjoessa käsittelyskenaariossa

PHREEQC:llä simuloitu pH-arvo 5 % sekoittumiseen Muonionjoessa käsittelyskenaarion aikana tilitetään kuvassa 28, yhdessä valvontapisteessä SS39 mitattujen arvojen kanssa. Kaivoksen toiminta-aikana simuloitu pH-arvo vaihtelee pH 6.8 ja pH 6.9 välillä, kuten valvontapisteessä SS39 mitattu pH:n keskiarvo.

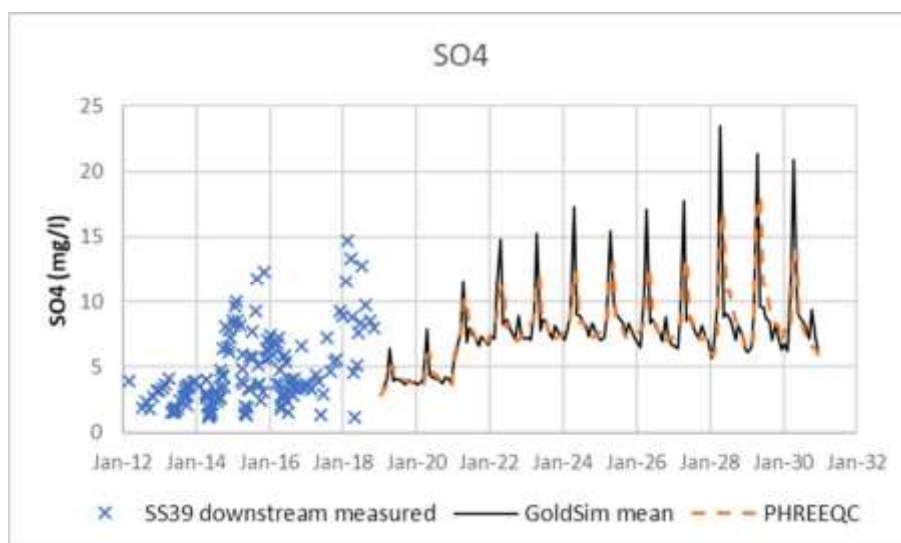
100 % sekoittumisessa jokeen, mikä tilitetään kuvassa 29, on käsitellyn purkuveden vaikutus Muonionjoen veteen lähes olematon. Simuloitu pH-arvo on lähellä pH 6.8:aa koko operatiivisen vaiheen ajan, mikä arvo on hyvin lähellä mitattuja veden laadun arvoja, jotka on mitattu ylävirtaan purkukohdasta olevassa valvontapisteessä, SS38.



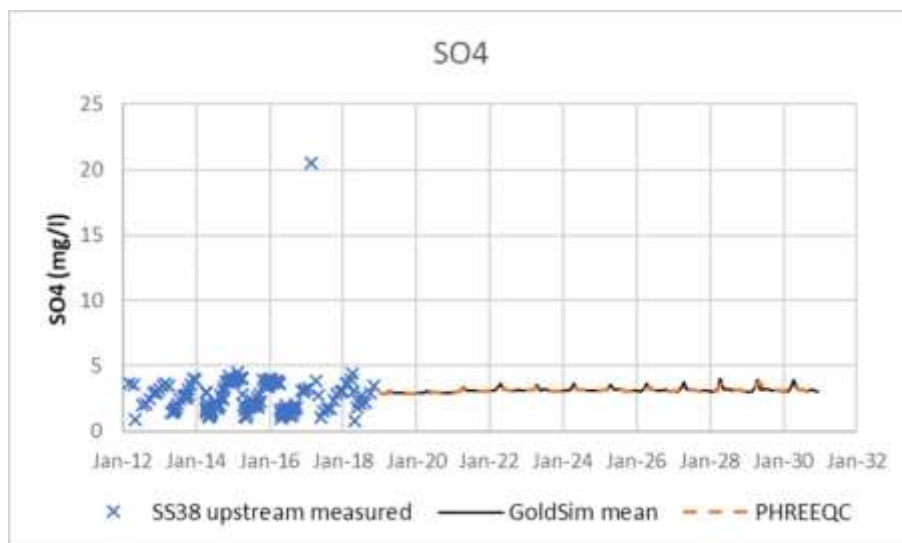
Kuva 28: pH-arvon kehitys Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.



Kuva 29: pH-arvon kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoittumista käsittelyskenaariossa. Simuloitu sulfaattipitoisuus joessa 5 % ja 100 % sekoittumisessa esitetään kuvassa 30 ja kuva 31. 5 % sekoittumisessa näkyy paljon pienempi pitoisuuden lisääntyminen kaivoksen toiminnan aikana kuin perustapausskenaariossa, huippupitoisuuksien ollessa noin 25 mg/L. 100 % sekoittumisessa kaivoksen päästöjen vaikutus sulfaattipitoisuuteen joessa on marginaalinen, enimmäispitoisuuden ollessa noin 4 mg/L. Tämä vastaa arvoja, jotka on mitattu purkupisteestä ylävirtaan olevassa valvontapisteessä SS38.

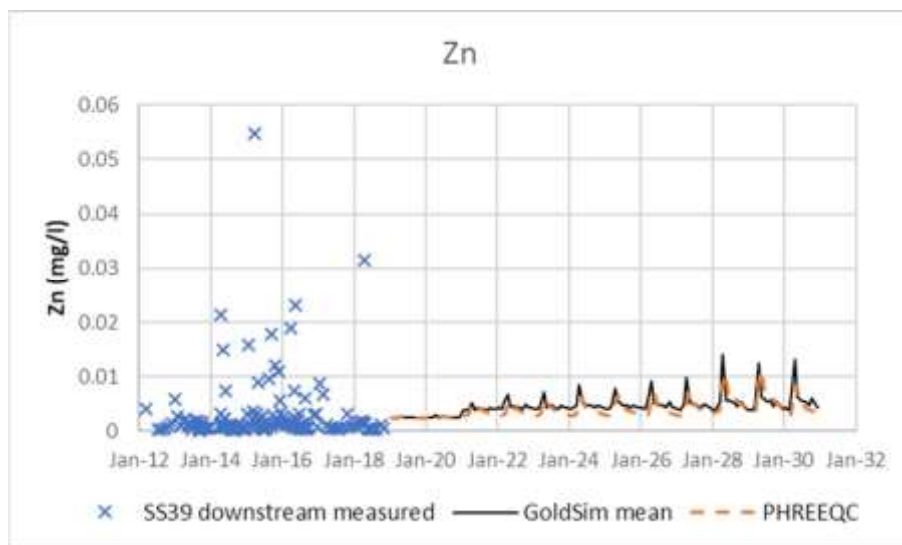


Kuva 30: Sulfaattipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 5 % sekoittumisella käsittelyskenaariossa.

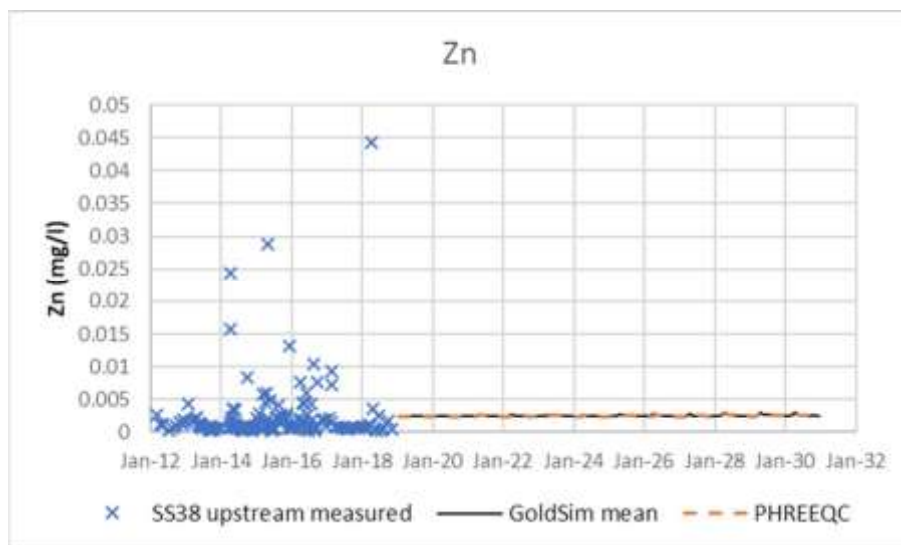


Kuva 31: Sulfaattipitoisuuden kehitys Muonionjoessa oletetulla 100 % sekoittumisella käsittelyskenaariossa.

Vastaava tulos on simuloitu sinkkipitoisuudelle (kuva 32 ja kuva 33). 5 % sekoittumisessa sinkkipitoisuus lisääntyy asteittain operatiivisen vaiheen aikana huippujen ollessa noin 0,015 mg/L. 100 % sekoittumisessa, taas purkuveden vaikutus sinkkipitoisuuteen on tuskin havaittava keskipitoisuuksien ollessa noin 0,003 mg/L, sekä GoldSimin että PHREEQC:n ennusteen mukaan.



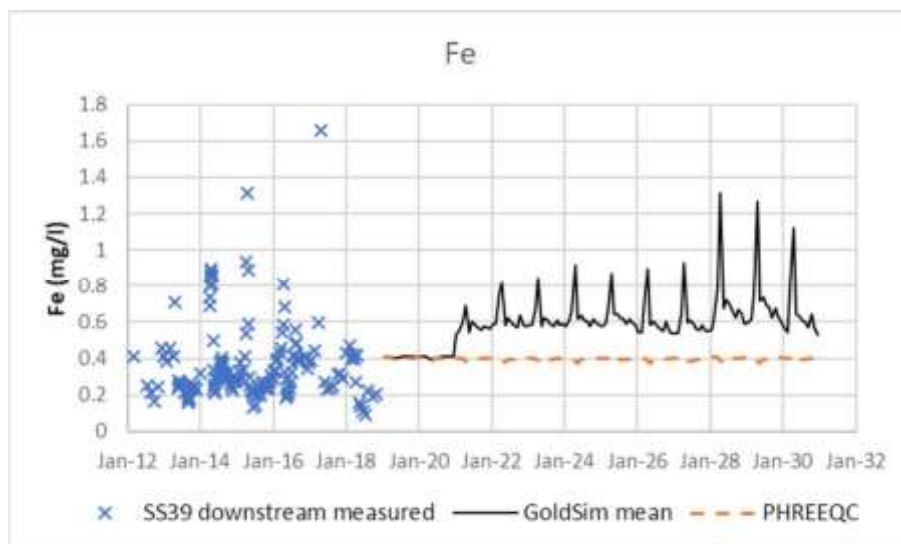
Kuva 32: Sinkkipitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.



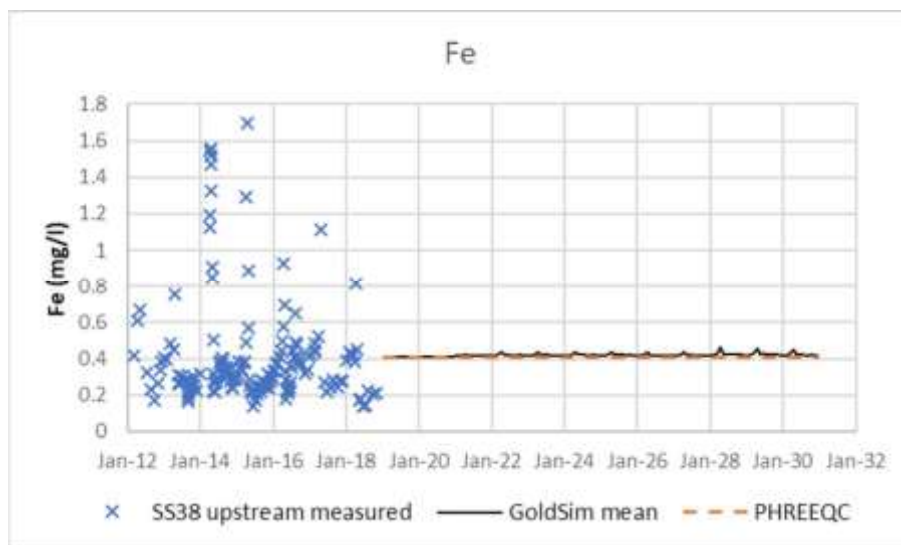
Kuva 33: Sinkkipitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.

Simuloidut rautapitoisuudet 5 % sekoittumisessa (kuva 34) ovat paljon pienempiä käsittelyskenaariossa kuin perustapausskenaariossa. Korkein rautapitoisuus vaimentamattomassa GoldSimin simuloinnissa on alle 1.4 mg/L (erona perustapausskenaarion 6.5 milligrammaan/L). PHREEQC:ssä rautapitoisuus on noin 0.4 mg/L, mikä on taustapitoisuus valvontapisteessä ylävirtaan purkupisteestä (SS38) koska ferrihydriitti säättää liukenevuutta selkeytysaltaassa ja prosessivesiallas on puhdistanut veden raudasta ennen kuin se päästetään jokeen.

100 % sekoittumisessa (kuva 35) sekä GoldSim että PHREEQC simuloivat pitoisuudet hyvin lähelle Muonionjoen 0.4 mg/L tausta-arvoja.

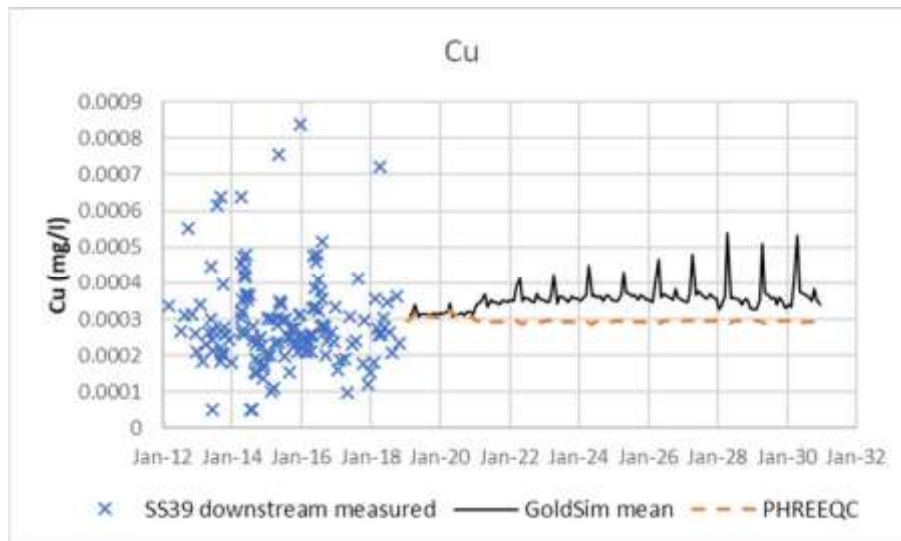


Kuva 34: Rautapitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.

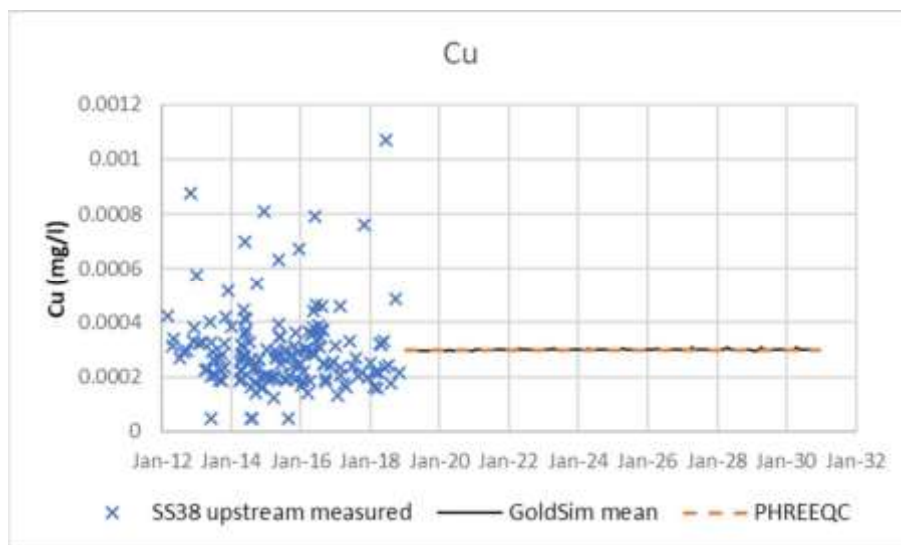


Kuva 35: Rautapitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.

Kuparipitoisuus 5 % sekoittumisessa sekä GoldSimillä että PHREEQC:llä simuloituna (Kuva 36) on lähellä 0,0003 mg/L vuonna 2019–2020 kuten aikaisemmin mitatut arvot ylävirtaan (SS38). Vuodesta 2020 ja eteenpäin kuparipitoisuus lisääntyy hieman GoldSimin simuloinnissa huippujen ollessa keväällä sulamisen aikaan noin 0,0006 mg/L. PHREEQC:ssä kuparipitoisuus on edelleen lähellä taustapitoisuutta 0,0003 mg/L kaivoksen koko toiminta-ajan. Nämä arvot edustavat liuenneita pitoisuuksia eivätkä biosaattavia, joiden odotetaan olevan paljon alhaisempia. 100 % sekoittumisessa (kuva 37) kuparipitoisuus on edelleen lähellä taustapitoisuutta kaivoksen koko toiminta-ajan sekä GoldSimissä että PHREEQC:ssä.



Kuva 36: Kuparipitoisuus Muonionjoessa olettaen 5 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.



Kuva 37: Kuparipitoisuuden kehitys Muonionjoessa olettaen 100 % sekoittumista käsittelyskenaariossa.

4.2.4 Ympäristölaatumormit Muonionjoessa

4.2.4.1 Kaivosveden purkaminen

Taulukossa 12 verrataan tilastollisesti laadittuja veden laatuja purkuveden käsittelyskenaariossa, jokiveden 5 % sekoittumisen ja 100 % sekoittumisen jälkeen HVMFS 2013:19 ympäristölaatumormien (EQS) raja-arvoihin

Tilastollisesti laaditut arvot on laskettu GoldSimin tuloksista, elleivät ne korrespondenoi PHREEQC:stä saatujen tulosten kanssa (pH, emäksisyys, Cr, Cu, Fe, U, Zn, K ja Na). Jokaiselle vesityypille tilitetään kolme tilastollista laskelmaa: a) keskiarvo (aritmeettinen keskiarvo) simuloitu koko operatiiviselle vaiheelle, b) korkein keskiarvo kalenterivuoden aikana ja c) maksimaalinen simuloitu pitoisuus operatiivisen vaiheen aikana. Koskien HVMFS 2013:19 EQS-raja-arvojen ylittämistä; jos EQS vuosikeskiarvo ylitetään, on pitoisuus merkitty punaisena soluna ja jos EQS:n mukainen enimmäispitoisuus ylitetään, teksti on kursivoitu ja puolilihava.

Sekoittumattomassa kaivosveden päästöissä, käsittelyskenaariossa simuloidaan As:n keskiarvoja ja maksimaalisia vuosikeskiarvoja, jotka ylittävät vuosikeskiarvon ympäristölaatumormin GoldSimin laskelmassa, mutta ei PHREEQC:n laskelman mukaan. Arsenikki sitoutuu voimakkaasti ferrihydriittiin, joka saostuu käsittelyskenaarion aikana, jonka vuoksi ei pidetä luultavana, että arsenikkipitoisuus ylittää suunta-arvot.

Cr-, Cu-, U- ja Zn-vuosikeskiarvot ja enimmäisvuosikeskiarvot ylittävät edelleen ympäristölaatumormit sekä GoldSimin että PHREEQC:n laskelmissa käsittelyskenaariossa, mutta ennustetut arvot ovat paljon pienempiä kuin perustapausskenaariossa simuloidut.

Huomaa, että HVMFS 2013:19:n Cu- ja Zn-ympäristölaatumormit koskevat biosaatavaa fraktiota, kun taas simuloidut pitoisuudet edustavat metallien liuenneita pitoisuuksia. Kuparin ja sinkin biosaatavan fraktion odotetaan olevan paljon pienempi kuin taulukossa 12 annetut arvot.

Uraanin osalta simuloitu enimmäispitoisuus purkuvedessä käsittelyskenaariossa ylittää enimmäispitoisuuden HVMFS 2013:19 ympäristölaatumormit.

HVMFS 2013:19:ssä ei ole ympäristölaatunormeja pH-arvoille. Tavallisesti Ruotsissa katsotaan pH-intervalli pH6:n ja pH8 – pH9:n välillä hyväksyttäväksi regulatorisesta perspektiivistä. Tämän ansiosta niitä pidetään käsittelyskenaariorissa lähes neutraaleina, heikosti happamina purkuveden pH-arvoina (pH 7.5 ja pH 8.2 välillä), jotka ovat hyväksyttävän intervallin sisällä

4.2.4.2 5 % sekoittumisen tapahduttua Muonionjoen virtaamaan

5 % sekoittumisessa, minkä odotetaan edustavan olosuhteita valvontapisteessä SS39, tapahtuu merkittävä simuloitujen parametrien lasku laimentumisen takia. pH:n odotetaan olevan hyvin lähellä neutraalia (lähellä pH 6.9:ää). Käsittelyskenaarion aikana GoldSimin ja PHREEQC:n laskelmissa ainoastaan U ja Zn osoittavat marginaalisia vuosikeskiarvon ylityksiä 5 % sekoittumisessa. Uraani ylittää edelleen HVMFS 2013:19 enimmäispitoisuuksien ympäristölaatunormit GoldSimissä, mutta ei PHREEQC:ssä.

4.2.4.3 100 % sekoittumisen tapahduttua Muonionjoen virtaamaan

100 % sekoittumisessa jokeen, toisin sanoen alempana alavirrassa, käsittelyskenaariorissa kaikki simuloitujen parametrit alittavat HVMFS 2013:19 ympäristölaatunormit sekä GoldSimissä, että PHREEQC:ssä. Poikkeuksena on uraani GoldSimissä, jossa uranipitoisuus marginaalisesti ylittää maksimaalisen pitoisuuden raja-arvot. Huomaa, että maksimaalinen arvo taulukossa 12 on korkein uranipitoisuus milloin tahansa jossakin 1000:sta Monte Carlo realisaatiosta. 95-prosentuaalinen uranipitoisuus ei ylitä 0,00045 mg/L, toisin sanoen vähintään 95 % Monte Carlo realisaatioista on alle 0,0045 mg/L ja marginaalisesti hyväksytyn ympäristölaatunormin enimmäispitoisuuden intervallin sisällä. Käsittelyskenaarion aikana on täten luultavaa, että 100 % sekoittumisessa jokiveden virtaamaan pitoisuudet alittavat HVMFS 2013:19 suunta-arvot.

Taulukko 12: Tilasto veden laadusta käsittelyskenaariossa kaivosveden päästöissä, 5 % sekoittumisen ja 100 % sekoittumisen jälkeen Muonionjoessa verrattuna HVMFS 2013:19 ympäristölaatonormien raja-arvoihin.

		Ympäristölaatonormit (HVMFS 2013:19)		Purettu kaivosvesi			5 % sekoittuminen Muonionjoessa			100 % sekoittuminen Muonionjoessa			
Parametri	Yksikkö	Vuosikeski- pitoisuus	Maksimi- pitoisuus	Kokon. keskip.	Korkein vuosi keskipitoisuus	Kokon. maksimi	Kokon keskim.	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokon. maksimi	Kokon. keskim.	Korkein vuosi- keskiarvo	Kokon. maksimi	
pH (PHREEQC)	-				7.82	7.98	8.20	6.84	6.87	6.91	6.85	6.85	6.86
Emäksisyys (PHREEQC)	mg/l CaCO ₃				33.49	43.03	70.16	5.43	5.67	6.20	4.90	4.91	4.93
Al	mg/l				0.13	0.31	0.82	0.03	0.03	0.21	0.03	0.03	0.08
As	mg/l	0.0005	0.0079		0.00061	0.00081	0.00133	0.00006	0.00007	0.00096	0.00005	0.00005	0.00031
As (PHREEQC)	mg/l	0.0005	0.0079		0.00016	0.00032	0.00039	0.00005	0.00005	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005
Ba	mg/l				0.040	0.044	0.111	0.009	0.009	0.038	0.008	0.008	0.029
Ca	mg/l				39.07	52.97	91.01	4.61	4.98	67.29	3.56	3.60	22.71
Cd	mg/l				2.45e-5	3.36e-5	7.53e-5	4.01e-6	4.11e-6	2.82e-5	3.45e-6	3.48e-6	1.45e-5
Cl	mg/l				50.10	67.87	282.63	2.11	2.20	43.42	0.78	0.79	30.34
Co	mg/l				0.00903	0.01745	0.03229	0.00033	0.00044	0.01734	0.00005	0.00006	0.00523
Cr	mg/l	0.0034			0.0062	0.0118	0.0237	0.00041	0.00051	0.01761	0.00023	0.00023	0.00454
Cr (PHREEQC)	mg/l	0.0034			0.0055	0.0138	0.0155	0.00039	0.00058	0.00109	0.00023	0.00024	0.00027
Cu	mg/l	0.0005*			0.0022	0.0029	0.0061	0.00035	0.00037	0.00432	0.00030	0.00030	0.00145

Cu (PHREEQC)	mg/l	0.0005*	0.0003	0.0009	0.0011	0.00030	0.00031	0.00032	0.00030	0.00030	0.00030
F	mg/l		0.219	0.318	0.825	0.0064	0.0073	0.2367	0.00034	0.00039	0.07666
Fe	mg/l		6.86	14.92	40.11	0.60	0.71	9.71	0.42	0.43	3.20
Fe (PHREEQC)	mg/l		0.00007	0.00011	0.00016	0.397	0.403	0.409	0.409	0.409	0.410



43

Andreas Lofgren, Erik Karlsson
Golder Sweden

Project No. 18109724
04/07/2019

		Ympäristölaatu­normit (HVMFS 2013:19)		Purettu kaivosvesi			5 % sekoittuminen Muonionjoessa			100 % sekoittuminen Muonionjoessa		
Parametri	Yksikkö	Vuosikeski- pitoisuus.	Maksimi- pitoisuus	Kokon. keskim.	Korkein vuosikeskiarvo	Kokon. Maksim.	Kokon. keskim.	Korkein vuosikesk	Kokon. maksimi	Kokonv. keskip.	Korkein vuosikesk.	Kokon. maksimi
Hg	mg/l			0.00002	0.00003	0.00005	0.00001	0.00001	0.00003	0.00001	0.00001	0.00002
K (PHREEQC)	mg/l			27.71	30.80	62.52	1.34	1.53	1.96	0.67	0.68	0.70
Mg	mg/l			45.66	62.51	110.17	2.39	2.69	68.35	1.08	1.10	26.65
Mn	mg/l			0.40	0.74	1.71	0.017	0.021	0.602	0.0057	0.0059	0.1842
Mo	mg/l			0.041	0.064	0.162	0.0017	0.0022	0.1020	0.00033	0.00036	0.03363
Na (PHREEQC)	mg/l			44.72	55.44	93.38	2.57	2.83	4.20	1.47	1.48	1.56
Ni	mg/l			0.041	0.078	0.151	0.0015	0.0020	0.0781	0.00027	0.00029	0.02357

NH ₄ -N	mg/l			0.79	0.84	1.66	0.030	0.034	0.862	0.0080	0.0082	0.6000
NO ₃ -N	mg/l			2.92	3.26	8.56	0.11	0.12	2.64	0.03	0.03	1.84
N _{tot}	mg/l			4.58	5.09	13.04	0.33	0.34	4.11	0.21	0.21	2.91
Pb	mg/l			0.00084	0.00151	0.00313	0.00007	0.00008	0.00222	0.00004	0.00004	0.00069
PO ₄ -P	mg/l			0.309	0.549	0.926	0.0121	0.0176	0.6281	0.0034	0.0037	0.1551
Sb	mg/l			0.049	0.070	0.120	0.0050	0.0055	0.0891	0.0036	0.0037	0.0340
SO ₄	mg/l			165.45	275.39	593.05	7.88	8.91	257.12	3.11	3.18	86.66
Sr	mg/l			0.102	0.116	0.222	0.019	0.020	0.115	0.017	0.017	0.066
U	mg/l	0.00017	0.0086	0.016	0.026	0.059	0.00059	0.00079	0.04289	0.00010	0.00011	0.01125
U (PHREEQC)	mg/l	0.00017	0.0086	0.012	0.031	0.036	0.00049	0.00095	0.00228	0.00010	0.00012	0.00020
				0.071	0.131							
Zn	mg/l	0.0055*		0.051	0.133	0.277	0.0046	0.0057	0.2035	0.0025	0.0026	0.0535
Zn (PHREEQC)	mg/l	0.0055*				0.150	0.0040	0.0060	0.0112	0.0025	0.0026	0.0029

*: biosaatava

5.0 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA SUOSITUKSIA TYÖLLE TULEVAISUUDESSA

Todennäköisyyspohjainen kuljetusmalli liuenneille aineille on kehitetty Tapuli Kaunis Iron Ore vedenkäsittelyprojektin tueksi. Mallin tarkoituksena on simuloida veden laadun kehitystä pääasiallisissa vesisäiliöissä (lähinnä prosessivesiallas ja selkeytysallas) ja purkuvedessä Muonionjokeen kaivoksen toiminnan aikana. Kaksi skenaariota on simuloitu, yksi ilman vedenkäsittelyä tai jätteenpoistotoimenpiteitä (perustapausskenaario) ja toinen, jossa Sahavaaran kaivoksen kontaktivettä ja PAF WRF on käsitelty emäksisellä annostelulla pH-arvoon 10.5 ja sedimentoimalla ennen sen päästämistä prosessivesialtaaseen (käsittelyskenaario).

Geokemialliset lähdeterminit (liuenneiden aineiden kuormitus kaivoksista, sivukivivarastosta, tuotantolaitoksista ja hiekkavarastoista jne.) nykyiselle mallille johdettiin saatavilla olevista aikaisemmista tutkimuksista (varsinkin Northland, 2014 ja SRK, 2014) sekä valvontatiedoista. Tällä hetkellä lähdeterminit ovat vakioita ja edustavat laajaa olettamusta kaivoksen infrastruktuurista tulevan kontaktiveden laadusta kaivostoiminnan päättyessä. Tämä on merkittävä yksinkertaistus, joka heijastelee nykyisin saatavilla olevia tietoja mallinnetusta järjestelmästä sen jälkeen, kun liuenneiden aineiden pitoisuudet kontaktivedessä todellisuudessa vaikuttavat lisääntyvän kaivoksen toiminnan aikana sivukivivarastojen, avolouhosten jne. kasvaessa. Oletetut arvot edustavat korkeimpia pitoisuuksia kaivoksen toiminnan aikana, mikä voi johtaa yliarviointiin kaivoksen aikaisessa operatiivisessa vaiheessa.

Todennäköisyyspohjainen vesitase ja konservatiiviset liuenneiden aineiden kuljetukset on simuloitu GoldSimillä (perustuu 1000 Monte Carlo realisaatioon), samalla kun rakennettiin rinnakkainen termodynaaminen sekoittumismalli PHREEQC:ssä pH:n ja veden emäksisyyden sekä mineraalien saostumisen ja sorptioreaktioiden simulointiin suurella täsmällisyydellä.

5.1 Perustapausskenaario

Veden laatutulokset perustapausskenaariosta 2019–2020 prosessivesialtaassa, selkeytysaltaassa ja purkuvedessä on simuloitu sekä GoldSimillä että PHREEQC:llä ja ne ovat hyvin samanlaisia hiljattain mitattujen valvontatietojen kanssa ja toimivat malli- ja parametrivalidointina. Tämän jakson aikana ovat ainoastaan Tapulin avolouhos, Tapulin sivukivivarasto, hiekkavarasto ja ainoastaan rikastus magneettierotuksella olleet toiminnassa, mikä antaa lievästi emäksistä vettä, jossa on pienet pitoisuudet järjestelmään liuenneita aineita.

Vuodesta 2021 ja eteenpäin, kun Sahavaaran avolouhos, sivukivivarasto ja vaahdotusketju otetaan käyttöön, veden laadun odotetaan muuttuvan siten, että sen pH-arvot laskevat ja liuenneiden aineiden pitoisuudet lisääntyvät Sahavaaran malmissa olevien korkeampien sulfidi- ja hivenmetallipitoisuuksien ansiosta.

Vuonna 2028 Tapulin avolouhos on louhittu valmiiksi ja ainoastaan Sahavaara ja Palotieva ovat käynnissä minkä seurauksena liuenneiden aineiden pitoisuudet lisääntyvät 2028–2030 ja pH-arvon prosessivesialtaassa, selkeytysaltaassa ja purkuvedessä odotetaan laskevan, koska emäksinen vesi Tapulista jää pois järjestelmästä.

Koskien HVMFS 2013:19 ympäristölaatu normien ylittämistä purkuvedessä ja Muonionjoen vedessä, simulointi osoittaa, että laimentamaton purkuvesi indikoi potentiaalista As-, Cr-, Cu-, U- ja Zn-pitoisuuksien ylittämistä vuosikeskitasolla. U ylittää myös simuloitun enimmäispitoisuuden raja-arvon, joka on asetettu ympäristölaatu normien mukaan.

5 % sekoittuminen Muonionjoen veteen, minkä odotetaan edustavan olosuhteita valvontapisteessä SS39, simuloi ainoastaan kuparin, uraanin ja sinkin keskimääräisiä- ja/tai maksimipitoisuuksia, jotka ylittävät

ympäristölaatunormit.

100 % sekoittumisessa jokiveteen, toisin sanoen pitemmällä alavirrassa, alittavat kaikki simuloidut parametrit HVMFS 2013:19 ympäristölaatunormit.



45

5.2 Käsittelyskenaario

Käsittelyskenaariossa, missä kontaktivesi Sahavaaran kaivoksesta ja PAF WRF käsitellään emäksisellä annostuksella pH-arvoon 10.5 ja sedimentoimalla ennen päästämistä prosessivesialtaaseen, veden laatu prosessivesialtaassa paranee huomattavasti. Simuloidut pH-arvot ovat neutraaleja, hivenmetallien ja sulfaattien pitoisuudet ovat paljon alhaisempia kuin perustapausskenaariossa.

Laimentamaton vesi, joka puretaan käsittelyskenaariossa, ylittää edelleen kromin, kuparin, uraanin ja sinkin osalta HVMFS 2013:19 ympäristölaatunormit sekä GoldSimissä että PHREEQC:ssä ennustettujen pitoisuuksien ollessa paljon alhaisempia kuin perustapausskenaariossa. Kuparin ja sinkin kohdalla ympäristölaatunormit koskevat vain biosaataavaa osaa, kun taas simulointi on edustanut metallien liuenutta pitoisuutta kokonaisuudessaan. Kuparin ja sinkin biosaataavien pitoisuuksien odotetaan olevan paljon pienempiä kuin mallien laskemat arvot.

5 % sekoittumista Muonionjoen veteen edustavissa olosuhteissa, jotka täsmäävät valvontapisteen SS39 olosuhteiden kanssa, odotetaan joen pH-arvon käsittelyskenaariossa olevan lähellä neutraaleja arvoja (noin pH 6.9). Ainoastaan U ja Zn osoittavat pitoisuuksia, jotka ylittävät marginaalisesti vuosikeskiarvon raja-arvot 5 % sekoittumisessa GoldSimin ja PHREEQC:n laskelmissa. Uraani ylittää edelleen enimmäispitoisuuden rajan GoldSimissä mutta ei PHREEQC:ssä.

100 % sekoittumisessa jokiveden kanssa, toisin sanoen alempana alavirrassa, kaikki simuloidut parametrit käsittelyskenaariossa ovat alle HVMFS 2013:19 raja-arvojen sekä GoldSimissä että PHREEQC:ssä. Uraanin kohdalla on yksi poikkeus, jossa pitoisuus ylittää marginaalisesti enimmäispitoisuuden raja-arvon. Laskettu maksimi-arvo on korkein simuloitu pitoisuus uraanille milloin tahansa jonkin 1000 Monte Carlo realisaation aikana. 95-prosentissa uraani ei ylitä 0,00045 mg/L, siis vähintään 95 % Monte Carlo realisaatioista maksimaalinen U-pitoisuus on alle 0.00045 mg/L hyvällä marginaalilla HVMFS 2013:19 enimmäispitoisuuksien ympäristölaatunormin (0.0086 mg/l) hyväksytyn intervallin sisällä. Käsittelyskenaariossa on luultavaa, että 100 % sekoittumisessa jokiveden kanssa kaikki pitoisuudet ovat alle HVMFS 2013:19 ympäristölaatunormien.

6.0 VIITTEET

Northland (2014), Lasketut pitoisuudet ja purkuvesien kuormitus - Purkaminen tuotannon aikana, patomurtumat, selkeytysallas sekä jälkikäsitellyt jätevarastot. kohta 4.2 2014 Northland EIA.

SRK (2014): Hapen tunkeutumisen hydrogeokemiallinen mallinnus ja liuenneiden aineiden päästöt peitetystä sivukivivarastosta, Sahavaara, Ruotsi. Kohta 7.2, 2014 Northland EIA. Yours sincerely,

Tobias Roetting
Principal Gejaemist

Christine Campbell
Principal Water Resources Engineer

c:\users\keriksson\desktop\kaunisiansökan\liite e tb\bilagor\golder uk tapuli transport malliing memo_draft v1.2_svenska 190715.docx