Geosyntec Consultants AB
Norra Hamngatan 6
411 14 Luleå

Karakterisering och klassificering samt uppdaterad belastningsbedömning

Tapuli K nr 4

2025-12-19

Projektnummer: SE2500775

Innehållsförteckning

1. INLEDNING 7
2. BESKRIVNING AV VERKSAMHET SOM GER UPPHOV TILL UTVINNINGSAVFALL 7
3. KARAKTERISERING AV UTVINNINGSAVFALL 9
4. GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN OCH FÖRUTSÄTTNINGAR 10
5. GENOMFÖRDA PROVTAGNINGAR OCH ANALYSER 16
5.1 Gråberg 16
5.2 Anrikningssand 17
6. GENOMFÖRD KARAKTERISERING 17
6.1 Gråberg Tapulifyndigheten 17
6.2 Anrikningssand 18
6.2.1 Fysikaliska och geotekniska egenskaper 19
6.3 Mineralogisk undersökning 19
6.4 Utvärdering av fullanalys från prospekteringsborrningar, karakterisering samt produktionsborrning – Tapuli dagbrott relativt Tapuli K nr 4 21
6.5 Buffrande egenskaper 31
6.5.1 ABA - karakterisering samt produktionsborrning i Tapuli dagbrott 32
6.5.2 Buffrande egenskaper Tapuli K nr 4 33
6.6 Kinetiska försök 35
7. FÖRÄNDRING AV GRÅBERGSDEPONINS SAMMANSÄTTNING GENOM BRYTNING AV FYNDIGHETEN 38
7.1 Gråbergsdeponins lakvattensammansättning – tidigare redovisad modellering 38
7.2 Förändring av masstransport genom brytning av fyndigheten - gråbergsdeponi 41
7.3 Förändring av masstransport – dagbrottets länshållningsvatten 42
8. ANRIKNINGSSAND 43
8.1 Anrikningssandens fysikaliska och geotekniska egenskaper 44
8.2 Mineralogi 46
8.3 Fullanalys 47
8.4 ABA 53
8.5 Fuktkammarförsök 55
8.6 Utvärdering av halter i malm/anrikningssand Tapuli K nr 4 62
8.7 Bedömning av påverkan på lakvattenhalt från sandmagasin 64

9. SAMMANFATTNING AV KARAKTERISERING OCH BEDÖMNING AV TAPULI K NR 4 65
9.1 Gråberg 65
9.2 Anrikningssand 66
Bedömning avseende påverkan på processvattenkvalitet 66
10. KLASSIFICERING AV UTVINNINGSAVFALL 66
10.1 Klassificering av gråberg 66
10.2 Klassificering av anrikningssand 67
11. REFERENSER 67

Tabellförteckning

Tabell 1 Sammanställning av mineralogisk undersökning av de vanligaste bergarterna i Tapuli dagbrott. 20
Tabell 2 Sammanställning av statistisk information om alla analyser utförda inom Tapulifyndigheten (Tapuli K nr 1) med <15 vikt-% Fe. 21
Tabell 3 Sammanställning av statistisk information om alla analyser utförda inom Tapuli K nr 4 med <15 vikt-% Fe. 21
Tabell 4 Redovisning av gråbergsprov som ingick i utförda fuktkammarförsök. 35
Tabell 5: Lakningshastighet (mg/(kg*vecka)) vid fuktkammarförsök som använts för att beräkning av lakvattenkvalitet från Tapuli gråbergsupplag. 38
Tabell 6: Parametrar för beräkning av lakvattenkvalitet för Tapuli gråbergsupplag. 41
Tabell 7: Modellerad löst halt i lakvatten från Tapuli gråbergsupplag 41
Tabell 8 Koncentrationer i länshållningsvatten från Tapuli dagbrott (PRO3). 42
Tabell 9 Förekommande malmtyper vid Tapuli. 44
Tabell 10 Sammanställning av geotekniska egenskaper för Tapuli anrikningssand. 46
Tabell 11 Sammanställning av den mineralogiska undersökningen på anrikningssand från pilotanrikningsförsök 2009. 47
Tabell 12 Sammanställning av halter från provanrikning 2008 och 2009. 47
Tabell 13 Jämförelse mellan resultat vid pilotanrikning 2009 och fallande anrikningssand från produktion 2013. 49
Tabell 14 Jämförelse mellan resultat vid pilotanrikning 2009 och fallande anrikningssand från produktion 2014. 51
Tabell 15 Redovisning av resultat från ABA-test på anrikningssand från bänkskaleförsök 2008 och pilotanrikning 2009 liksom från produktion under 2013 och 2014. 54
Tabell 16 Sammanställning av halt i anrikningssand från produktion med teoretiskt beräknad medelhalt för Tapuli K nr 4. 63
Tabell 17 Sammanställning av antagen lakvattenkvalitet från sandmagasinets anrikningssand vid utförd modellering. 64

Figurförteckning

Figur 1 Tapuli gruva med nuvarande utformning av dagbrott, industriområde, gråbergsdeponi och sandmagasin. 8
Figur 2 De större geologiska enheterna i den fennoskandiska skölden och angränsande områden. Kaunisvaaras läge är markerat med den gröna punkten. PDB = Pajala deformationsbälte. KDZ = Karesuando–Arjeplog deformationszon. Modifierad från Bergman et al. (2001). 10
Figur 3 Geologisk karta över Tapylifyndigheten. 12
Figur 4 Förenklat stratigrafiskt diagram över Tapulifyndigheten baserat på borrkärneloggning. PHYL = fyllit, GNS = paragnejs, QZT = kvartsit, SKARN = skarn med låg magnetithalt, MGTS = skarn med hög magnetithalt, DOLO = dolomit, GRPHYL = grafitförande fyllit, VOLC = vulkaniter. (Från Husén 2024). 13

Figur 5 Nuvarande utformning av dagbrotten vid Tapuli K nr 1 (Tapuli centrala samt norra dagbrott) överlagrande blockmodellen. Grön färg: 20–25 vikt-% Fe, Orange: 25–35 vikt % Fe och röd >35 vikt-% Fe. Övre bild vy från söder, nedre bild vy från väster. 15
Figur 6 Tvärsektion genom Tapuli centrala dagbrott. Färger anger olika halter i borrhål. Hög halt Fe motsvarar >25 vikt-%, Låg halt 10–25 vikt-% Fe och gråberg <10 vikt-% Fe, hög halt S >0,5 vikt %. Modifierad från Dishaw & Lepley (2021). 16
Figur 7 Förhållande mellan Ca och Mg, blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Indikerat i figuren är bedömda delområden för de ingående mineralen. Svart streckad linje anger ökad andel dolomit i provet Förekomst av kalcit respektive magnesit baserad på halter indikerad mot ytterkanterna. Delprover med <15 vikt % Fe redovisade. 22
Figur 8 Förhållande mellan Ca plus Mg samt svavel, blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Delprover med <15 vikt-% Fe redovisade. 23
Figur 9 Förhållande mellan järn och svavel. Blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Alla delprover redovisade. Blå linje anger magnetkis. 24
Figur 10 Förhållande mellan järn och svavel. Blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Alla delprover redovisade. Blå linje anger magnetkis. 25
Figur 11 Förhållandet mellan arsenik och molybden. 26
Figur 12 Förhållandet mellan kobolt och svavel. 27
Figur 13 Förhållandet mellan krom och aluminium. 27
Figur 14 Förhållandet mellan koppar och svavel. 28
Figur 15 Förhållandet mellan uran och molybden. 29
Figur 16 Förhållandet mellan nickel och järn vid en järnhalt understigande 5 vikt-%. 29
Figur 17 Förhållandet mellan vanadin och aluminium samt järn. 30
Figur 18 Förhållandet mellan zink och kalium. 31
Figur 19 Förhållandet mellan uran och fosfor respektive zirkonium. 31
Figur 20 Vy från sydväst på Tapuli dagbrott och lokalisering av delprover för karakterisering avseende buffrande egenskaper. Gul färg anger järnmineralisering och röd färg anger svavelhalt >0,5 vikt %. Brunt anger det använda skalet för modellerat dagbrott. 32
Figur 21 Presentation av svavelfördelning i prospekteringsanalyser från Tapuli K nr 1 (Tapuli centrala och norra) jämfört med Tapuli K nr 4 (Tapuli Södra). 33
Figur 22 Förhållandet mellan kalcium och NP. NP oorganiskt kol till vänster (a) och NP titrerad till höger (b). 34
Figur 23 pH i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. 36
Figur 24 Alkalinitet i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. 36
Figur 25 Förbrukning av NP-karbonater vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. ..36
Figur 26 Sulfathalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. 37
Figur 27 Kopparhalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. 37
Figur 28 Kobolthalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli. 37
Figur 29 Siktkurvor på anrikningssand och flotationssand från pilotanrikning. 45
Figur 30 Siktkurvor på anrikningssand och flotationssand från pilotanrikning. 45
Figur 31 Redovisning av resultat från fallande anrikningssand med NPR (NP/AP) på y-axel och svavelhalt på x-axel. 55
Figur 32 Redovisning av pH-utveckling i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. .56
Figur 33 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 56
Figur 34 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 57

Figur 35 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 57
Figur 36 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 58
Figur 37 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 58
Figur 38 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 59
Figur 39 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 59
Figur 40 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 60
Figur 41 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 60
Figur 42 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 61
Figur 43 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 61
Figur 44 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli. 62
Figur 45 Förhållandet mellan kalcium och magnesium samt kalcium och kisel, teoretiskt beräknat för framtida anrikningssand från Tapuli K nr 4. Röda punkter anger karbonater inringade delområden anger olika silikatmineral. 64

Bilageförteckning

BILAGA 1 PROCESSVATTENSAMMANSÄTTNING

1. Inledning

Kaunis Iron AB (nedan ”KIAB” eller ”Bolaget”) bedriver gruvverksamhet i Pajala kommun genom brytning inom bearbetningskoncessionen Tapuli K nr 1. Då malmen inom Tapuli K nr 1 beräknas vara helt utbruten runt årsskiftet 2027/2028 avser Bolaget att utöka sin verksamhet med brytning inom de till Tapuli K nr 1 närliggande koncessionsområdena Sahavaara K nr 1 och Tapuli K nr 2 samt området för den nu aktuella bearbetningskoncessionen Tapuli K nr 4.

I denna rapport karakteriseras och klassificeras (i enlighet med kraven i SFS 2013:319) utvinningsavfallet från en framtida brytning av den järnmalmsfyndighet som finns belägen inom det planerade koncessionsområdet Tapuli K nr 4.

Utöver tidigare material från karakterisering av Tapulifyndigheten finns även ämnesanalyser (95 263 delprov) samt ABA-test (1 706 analyser från 2021–2025) från utförd produktionsbrytning av gråberg. På fallande anrikningssand har 3 996 analyser utnyttjats som jämförelsematerial.

Genom jämförande utvärdering av karakterisering innan påbörjad brytning i Tapuli K nr 1 med faktiskt utfall på losshållet gråberg i Tapuli dagbrott samt resultat från borrkärna inom Tapuli K nr 4 så kommer en bedömning avseende gråbergets samt anrikningssandens sammansättning att utföras (vilka egenskaper har gråberg och framtida anrikningssand från Tapuli K nr 4 och kommer gråberg eller anrikningssand från planerat koncessionsområde signifikant kunna förändra sammansättningen i gråbergsdeponin?). Utförd bedömning innefattar svavelhalter, bergartsfördelning, buffrande förmåga, samt innehållet av de ämnen som särskilt omnämns i 6 § SFS 2013:319 inklusive uran.

2. Beskrivning av verksamhet som ger upphov till utvinningsavfall

Malmfyndigheten i Tapuli K nr 1 bryts i dagbrott där brytningen har utförts av malmkroppen i dess centrala och norra delar (Tapuli centrala dagbrott och Tapuli norra dagbrott) (Figur 1). Området vid Tapuli K nr 4 medger en utökning av dagbrotten med en fortsatt brytning av samma malmkropp. För att frilägga malmen i Tapuli K nr 4 kommer, på samma sätt som för Tapuli K nr 1, omkringliggande ofyndigt berg brytas i den utsträckning som erfordras för att dels frilägga malmen, dels erhålla stabila slänter.



Figur 1 Tapuli gruva med nuvarande utformning av dagbrott, industriområde, gråbergsdeponi och sandmagasin.

Losshållet gråberg kommer att transporteras till samma gråbergsdeponi som tidigare utbrutet gråberg från Tapuli K nr 1. Särhållning av potentiellt syrabildande gråberg sker enligt samma princip som hittills använts. Malmen körs till krossning vartefter den transporteras till anrikningsverket med bandtransportör.

Den krossade malmen lagras i malmlada i anslutning till Kaunisvaara anrikningsverk. Malm tas ut i botten av lagret och transporteras in till verket med bandtransportör. I anrikningens första steg mals malmen i en kvarn till en finkornig konsistens vid tillsats av vatten. Sedan genomförs det första steget av magnetseparering varvid ett primärkoncentrat erhålls. Malning och magnetseparering genomförs ytterligare en gång och ett sekundär-koncentrat erhålls. Magnetseparering är möjlig eftersom det järnbärande mineralet är magnetit vilket, som namnet antyder, har magnetiska egenskaper. Resterande material är ofyndigt berg som avskiljs från det magnetiska järnhaltiga materialet. Utsorterat ofyndigt material i malnings- och magnetsepareringsprocessen kallas anrikningssand och utgör den andra typen av utvinningsavfall som uppkommer i verksamheten.

För att öka fastgodsandelen i anrikningssanden innan deponering passerar sanden en förtjockare och pumpas sedan som en förtjockad slurry till den sanddeponi som finns belägen öster om anrikningsverket (Figur 1). Deponering av anrikningssanden inom sandmagasinet utförs i dagsläget genom flera punktutsläpp (spigottering) från en deponeringsramp som anlagts och sträcker sig till sandmagasinets centrala del.

Vid anrikning genom våtmagnetisk separering används vatten för att separera magnetiten från gråbergs-mineralen. Den övervägande delen av vattnet utgörs av vatten som återvinns och recirkuleras i processen.

Intern återvinning sker i anrikningsverket genom att vatten erhållet från sligavvattning och förtjockare återförs till malkretsarna och magnetseparatorerna. Extern återvinning sker genom återpumpning från klarningsmagasinet.

Malm med förhöjd sulfidhalt genereras ett sekundärkoncentrat som behandlas i ett processteg i vilket magnetiska sulfider som följt med magnetiten i processen avskiljs genom så kallad flotation. Flotationen innebär att ytaktiva kemikalier tillsätts slurryn, som därefter passerar en serie tankar, där finfördelad luft blåses in under kraftig omröring. På så sätt bärs sulfidmineralen upp av luftbubblorna och bildar ett skumtäcke på ytan som skrapas av och samlas upp separat. I botten samlas en finkornig järnslig som går vidare till en avslutande våtmagnetisk separation, vilken i princip utgör ett förtjockningssteg, och därefter till en konventionell förtjockare.

Anrikningssanden från flotationsprocessen kommer att pumpas antingen till en separat deponi i en bergtäkt på industriområdet eller till sandmagasinet för deponering i en särskild cell för materialet. Vattnet från avvattningen återförs till processen.

3. Karakterisering av utvinningsavfall

Enligt 30 § i utvinningsavfallsförordningen ska den som driver en verksamhet som ger upphov till utvinningsavfall eller driver en utvinningsavfallsanläggning karakterisera det avfall som uppkommer eller hanteras i verksamheten så att avfallet kan hanteras på ett lämpligt och säkert sätt.

Enligt 31–36 §§ i utvinningsavfallsförordningen ska karakteriseringen enligt ovan dokumenteras och bl.a. innefatta:

- Information om fyndigheten och mineraliseringen samt geologiska förhållanden på utvinningsplatsen
- Mineraliseringens och utvinningsavfallens ursprung, mineralogiska, fysikaliska och geokemiska egenskaper
- Kemisk sammansättning hos lakvatten som avfallen ger upphov till

Kunskapen om mineraliseringen och om egenskaperna hos utvinningsavfallen som uppkommer i verksamheten är mycket god baserat på den loggning/tolkning och analyser som utförts på borrkärnor från de mycket omfattande prospekteringsarbetena vid fyndigheten samt utifrån de erfarenheter som erhållits under produktionsperioden (omkring tio år). Jämförande utredningar av prognoser kan därmed utföras och prognoser för Tapuli K nr 4 arbetas fram.

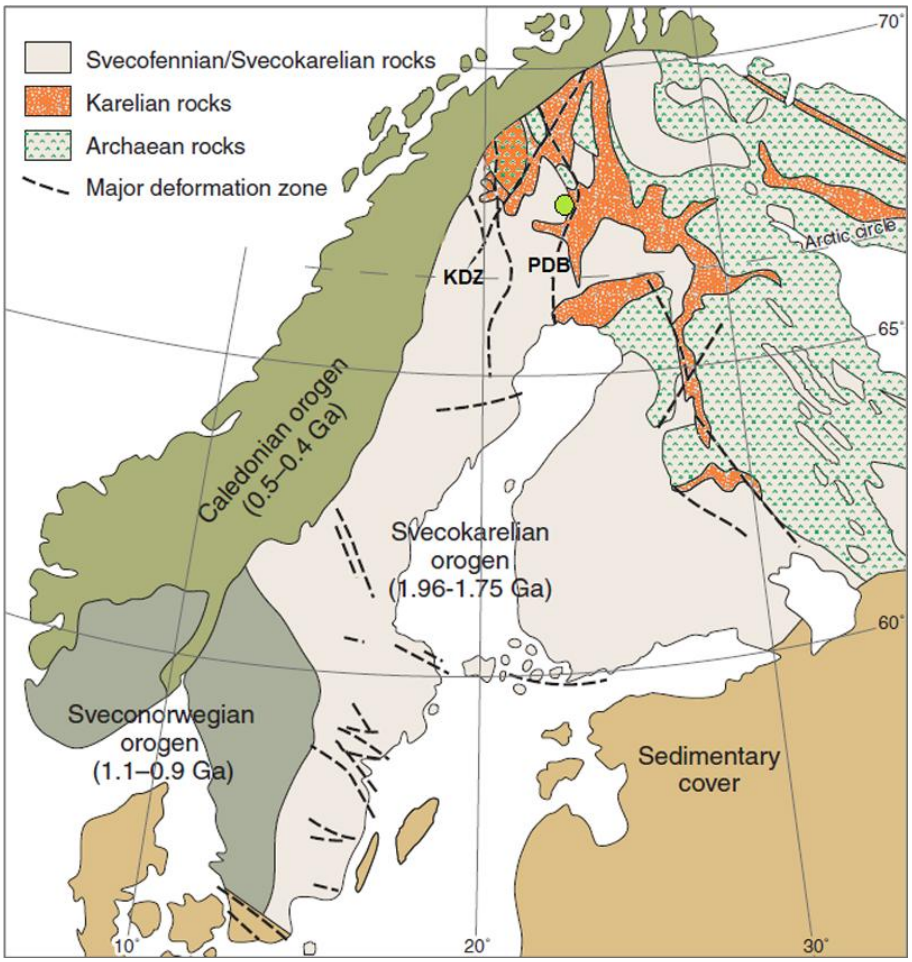
Analyserna från prospekteringsborrningarna omfattar ca 130 borrhål omfattande en total längd av 24 475 m och på denna borrkärnelängd finns 22 457 analyser på svavel, koppar, arsenik, fosfor samt de vanliga huvudelementen och mangan. Baserat på kartering av borrkärnor samt innehållet av svavel (bland annat) har en detaljerad karakterisering av Tapulifyndigheten utförts där 26 representativa prov undersökts mineralogiskt och geokemiskt.

I denna databas ingår borrkärnor från Tapuli K nr 4. Planerad bearbetningskoncession utgör 2 825 av dessa analyser vilka utnyttjas i föreliggande karakterisering av gråberg.

Som stöd för att analyserna från prospekteringsarbetena har varit korrekta i sin prognos över gråbergets sammansättning så har analyser på borrkax från produktionsborrningar inhämtats. Dessa utgörs av 103 667 analyser från Tapuli centrala dagbrott (huvudsakligen) men även från Tapuli norra dagbrott.

4. Geologiska förhållanden och förutsättningar

Området är beläget inom Pajala-Kolari förkastningszon (Figur 2) som är en strukturgeologisk deformationszon som sträcker sig över 150 km och är upp till 50 km bred, med ca 30 kända järnmalmsmineraliseringar varav en del även innehåller intressanta koppar- och guldhalter, så kallade IOCG-förekomster (Iron Oxide-Copper-Gold). Förkastningszonen markerar gränsen mellan den norrbottniska (västliga) och karelska (östliga) kratonen, vilken skär igenom området i en sydväst-nordostlig riktning och formar en stor del av den baltiska skölden. Förkastningszonen fortsätter in i Finland där ett flertal liknande fyndigheter återfinns, bland annat fyndigheten Hannukainen.



Figur 2 De större geologiska enheterna i den fennoskandiska skölden och angränsande områden. Kaunisvaaras läge är markerat med den gröna punkten. PDB = Pajala deformationsbälte. KDZ = Karesuando–Arjeplog deformationszon. Modifierad från Bergman et al. (2001).

Fyndigheten ligger i ett område med metasedimentär berggrund av Paleo proterozoisk ålder som ingår i ett större geologiskt område, benämnt centrala Lapplands grönstensbälte. Metasedimenten består av kvartsiter, dolomiter, fylliter och skiffrar som pålagrar vulkaniska bergarter kallade grönstenar (Figur 4).

Tapuli K nr 4 utgör en kontinuerlig och kompakt magnetitlins förlagd mellan hängväggens kvartsit och liggväggens dolomit och fyllit. Innehållet av karbonater i malm är mycket hög. Svavelkis och magnetkis förekommer ställvis i hela fyndigheten men enbart i låga halter. Mineraliseringen förekommer som relativt kontinuerliga magnetitförande linser eller band omslutna av skarn. Linserna är stratigrafiskt belägna mellan en kvartsit-fyllitenhet i hängväggen och en mäktig dolomithorisont i liggväggen. De magnetitförande zonerna varierar mellan några få meter till över 100 meters mäktighet. De kan följas från södra Tapuli till norra Palotieva, en sträcka på ca 3 km. Zonerna avbryts här och var av förkastningar. Förutom sedimentära och vulkaniska bergarter förekommer även brant stupande diabasgångar inom området.

De huvudsakliga mineralen i malmzonen är magnetit, serpentin, magnetkis, amfibol, pyroxen och mindre mängder sulfider. Den södra delen av malmkroppen innehåller nästan ingen svavelkis alls medan mängden svavelkis ökar norrut med en successiv förändring av svavelkis-magnetkisförhållandet längs malmzonens strykningsriktning.



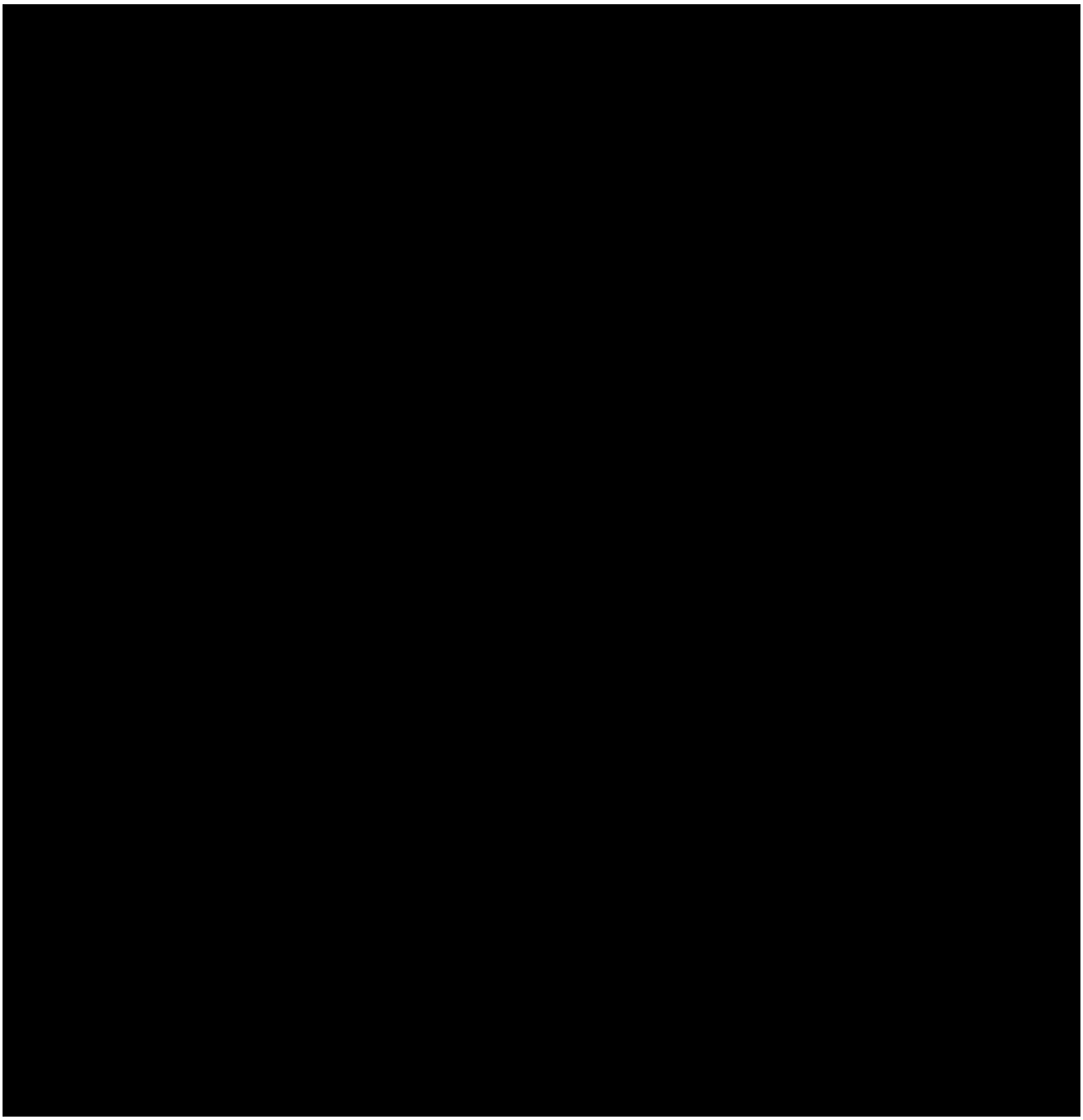
Figur 3 Geologisk karta över Tapylifyndigheten.

Tapuli K nr 4 är således en kontinuerlig fortsättning av mineraliseringen med samma stratigrafiska läge och omgivande bergarter. Ett förenklat stratigrafiskt diagram baserat på borrkärnekartering redovisas i Figur 4.

Den nedersta delen av Tapulis stratigrafi tillhör Veikkavaara grönstensgruppen och består av tunt lagrad fyllit som överlagras av en enhet med folierad dolomit (Baker & Bonson, 2013; Bergman & Hellström, 2020). Lokalt övergår fylliten till grafitförande fyllit på högre stratigrafiska nivåer, där utspridd grafit typiskt förekommer tillsammans med plagioklas, amfibol och mindre mängder titanite (Lindroos et al., 1972; Denisova, 2013). Sulfider, främst pyrit och magnetkis, är rikliga, särskilt i de grafitförande zonerna, och förekommer som finkorniga utspridningar eller grovkorniga inneslutningar associerade med kalkspatsådror (Denisova, 2013). Små inlagringar av dolomit förekommer i de övre delarna av fylliten och kontakten mellan de två enheterna är övergångsvis och kännetecknas av inbäddning.

Dolomiten utgör liggväggen till skarnmineraliseringen och kan följas genom hela fyndigheten med en varierande mäktighet på 20–150 meter (Baker & Bonson, 2013). Kontakten mellan mineraliseringen och liggväggen är gradvis och karbonater samt skarn är ofta blandade inom en övergångszon som sträcker

sig över några meter (Figur 4). Lager av dolomit, upp till flera meter tjocka, kan lokalt påträffas inom skarnen. Pyrit, magnetkis och mindre mängder kopparkis förekommer som ojämnt fördelade ådror och utspridningar i hela dolomiten (Denisova, 2013).



Mineraliseringen består av en mycket varierande, magnetitrik skarnomvandling som till stor del överlagrar liggväggens dolomit (Baker et al., 2011). Mineraliserade zoner framträder som linser och band med nordostlig strykning, vilka faller konformt med den lokala stratigrafin, 45–60° mot nordväst. Mineraliseringen fortsätter från fyndighetens centrala del och bildar avlånga utlöpare mot nordost och sydväst med en total längd på cirka 2 km (Figur 5). Skarnomvandlingens mäktighet varierar mellan 20

och 250 meter och korrelerar med dolomitens mäktighet. Generellt gäller att där skarnomvandlingen är tjock är dolomiten tunn och vice versa. Den sammanlagda mäktigheten för de två enheterna är dock genomgående omkring 250 meter i hela fyndigheten (Baker & Bonson, 2013). Mineraliseringens utbredning har avgränsats genom prospekteringsborrning till maximalt 300 meter under markytan, vilket innebär att fyndighetens vertikala utsträckning ännu inte är helt fastställd (Baker et al., 2011).

Tre huvudtyper av skarnparageneser har identifierats i fyndigheten: klinopyroxen-tremolitomvandling, magnetit-aktinolitomvandling och serpentinomvandling (Bergman & Hellström, 2020; Baker & Bonson, 2013). Dishaw & Lepley (2021) föreslog att klinopyroxen-tremolitomvandlingen föregår magnetit-aktinolitomvandlingen, medan serpentiniseringen utgör det sista omvandlingsstadiet. Det senare sker alltså efter den huvudsakliga mineraliseringshändelsen. Magnetitrika zoner förekommer dock i alla tre skarnparageneser och i de mest högvärdiga delarna av fyndigheten är serpentin det dominerande gångmineralet (Dishaw & Lepley, 2021). Protoliten för mineraliseringen har inte fastställts med säkerhet, men lokala zoner med biotit- och albitrik omvandling i skarnen indikerar att protoliten kan ha varit en aluminiumrik silikatbergart snarare än dolomit (Dishaw & Lepley, 2021).



Enligt Dishaw & Lepley (2021) uppgår den genomsnittliga svavelhalten i mineralresurserna till 0,4 vikt %. Sulfiderna är dock ojämnt fördelade inom mineraliseringen och enskilda bänkskaleprover från produktionsborrhål i mineraliserade zoner kan ibland innehålla upp till 10 % S. Pyrit och magnetkis är de huvudsakliga sulfidmineralen, tillsammans med mindre mängder kopparkis. Kopparhalterna är generellt låga i de sulfidförande zonerna men uppgår ändå till några hundra ppm (Dishaw & Lepley, 2021). Svavelhalterna ökar vanligtvis med djupet och de högsta koncentrationerna återfinns i de nedersta lagren nära kontakten med liggväggen (Figur 20). På samma sätt ökar förhållandet mellan magnetkis och pyrit ju närmare liggväggen man kommer, särskilt nära den grafitförande fylliten (Denisova, 2013). Närmare hängväggen verkar pyrit vara det dominerande sulfidmineralet, medan magnetkis endast förekommer sporadiskt.



En svekofennisk metasedimentär sekvens, tillhörande Sammakkovaara-gruppen, utgör mineraliseringens hängvägg. Sekvensen består av lagrad kvartsit, fyllit och kvartsitisk fyllit, eller högre metamorfa motsvarigheter såsom glimmerskiffer och biotitgnejs (Bergman & Hellström, 2020). Sedimentära strukturer är väl bevarade med tydlig skiktning som kan observeras i många av bergarterna. Kontakten mellan skarnen och de metasedimentära bergarterna är övergångsvis och sträcker sig vanligtvis över några meter. Med undantag för övergångszonen har inga sulfider observerats i hängväggssekvensen. Denna observation överensstämmer med tidigare mineralogiska studier av fyndigheten (t.ex. Lindroos et al., 1972 och Denisova, 2013) och stöds ytterligare av de låga svavelhalterna som ses i uttagna prover från produktionsborrhål.

Flera mafiska gångar, med en typisk mäktighet på mindre än 5 meter, skär igenom stratigrafin i båda dagbrotten med höga till medelhöga vinklar. Mikroskopiska studier av Denisova (2013) visar att mineralogin huvudsakligen består av aktinolit, biotit och plagioklas, med mindre mängder titanit och magnetit. Gångarna är genomgående omvandlade, och de huvudsakliga omvandlingsmineralen har identifierats som klorit, flogopit och skapolit, ibland med överlagrad sulfidomvandling (Denisova, 2013).

5. Genomförda provtagningar och analyser

5.1 Gråberg

Tidigare har karakteriseringsinformation för Tapulifyndighetens gråberg sammanställts och redovisats i Golder (2019) och denna databas utnyttjas åter i denna rapport, dock med särhållning mellan Tapuli K

nr 4 och Tapuli K nr 1. Syftet är att påvisa de likheter och olikheter som finns mellan de två brytområdena i samma fyndighet och med samma omgivande bergarter.

Representativa prov på Tapuligråberg baserat på geokemisk modellering togs ut under 2010 och urvalet utfördes med hjälp av Leapfrog software package (Version 2.2.1.44; Applied Research Associates New Zealand). Programmet importerar borrhållsdata och relaterar dessa till en 3D-modell med den framtagna dagbrottslayouten utifrån den aktuella malmkroppens utbredning.

Som en del av den pågående produktionsbrytningen i Tapuli utförs löpande provtagning och analys av borrkax i samband med borrning inför sprängning. Prover på borrkax uttas från ett antal jämnt fördelade och representativa borrhål i varje salva. Antalet delprover, alltså hur många hål som prover tas från, beräknas utifrån tonnage/omfattning på salvan. Urvalet av delprover görs i samråd med geolog för att säkerställa delprovernas representativitet för salvan som helhet. Till och med 12:e november 2025 så har 1 644 ABA-test och 95 263 analyser av huvudelement samt svavel och zink utförts.

5.2 Anrikningssand

Karakterisering av anrikningssand har liksom som för gråberg tidigare sammanställts och redovisats i Golder (2019). Dessa resultat utnyttjas åter i denna rapport och jämförs med prognosticerad halt i anrikningssand från fyndigheten.

Under 2008 genomfördes geokemisk karakterisering av två representativa samlingsprover på anrikningssand (HWA083:2111 Non-Mags Test 1 och HWA0832233 Non-Mags 2 test 3) från provanrikning i bänkskala. Provanrikning utfördes av SGS Lakefield Ltd. (SGS). Under 2009 genomfördes fördjupade geokemiska undersökningar av anrikningssand baserat på materialprov från anrikningsförsök i pilotskala. Både bänkskaleförsök och pilotskaleförsök har utförts på malm som tagits ut från hela malmkroppen, men där den producerade anrikningssanden från pilotskaleförsöket bedöms vara mer representativ.

Sedan anrikning av Tapulimalmen inleddes i slutet av 2012 har prover på fallande anrikningssand uttagits regelbundet som en del av verksamhetens egenkontroll. Uttagna prover på anrikningssand i den pågående produktionen har undersökts huvudsakligen genom ABA test och totalhaltanalyser av metaller. Resultat från undersökningar av fallande anrikningssand har inkluderats för produktionsår 2013 (40 prover) och 2014 (33 prover). Utöver dess geokemiska egenskaper har prover på fallande anrikningssand även undersökts med avseende på sandens fysikaliska och geotekniska egenskaper.

6. Genomförd karakterisering

6.1 Gråberg Tapulifyndigheten

Den inledande karakteriseringen av Tapulifyndigetens gråberg från borrkärnor TPL-ARD08001-TPL-ARD08006 och som genomfördes under 2008 utfördes av SGS Lakefield Research ltd. (SGS, 2008) omfattade följande analyser:

- Totalhalter (med XRF) för huvudelement
- Syralakade totalhalter för spårämnen
- Modifierat ABA-test
- NAG-test
- 2-stegs skaktester enligt EN 12457 3 (L/S 2, L/S 8 och kumulativt)

Under 2010 genomförde SRK Consulting Ltd. en fördjupad geokemisk karakterisering av gråberg från Tapuli, Palotieva och Sahavaara som inkluderade statiska tester i form av ABA-, NAG-test och lakförsök samt kinetiskt test i form av fuktkammarförsök och där 21 representativa delprover kom från Tapulifyndigheten.

Den fördjupade karakteriseringen omfattade följande analyser:
- QEMScan, XRD
- Syralakade totalhalter för spårämnen
- Modifierat ABA-test
- NAG-test och kinetiska NAG test inklusive analys av lakvatten från NAG-test
- 2-stegs skaktester enligt EN-12457-3 (L/S 2, L/S 8 och kumulativt),
- Fuktkammarförsök

Utöver genomförda geokemiska karakteriseringar har prover på upplagt gråberg från Tapulifyndigheten även undersökts med avseende på kornstorleksfördelning genom optisk analys och fullskalesiktning.

6.2 Anrikningssand

Karakteriseringen av anrikningssand 2008 omfattade följande analyser;
- Totalhalter (med XRF) för huvudelement
- Syralakade totalhalter för spårämnen
- Modifierat ABA-test
- NAG-test
- 2-stegs skaktester enligt EN 12457 3 (L/S 2, L/S 8 och kumulativt)

Medan undersökningarna 2009, dvs. den fördjupade geokemiska karakteriseringen, inkluderade
- Totalhalter av huvud- och spårelement (upplösning samt XRF)
- Mineralogiska undersökningar (QEMScan, XRD)
- Moidifierat ABA-test
- NAG-test
- 2-stegs skaktester enligt EN 12457 3 (L/S 2, L/S 8 och kumulativt)
- Kinetiskt test i form av fuktkammarförsök

De prospekteringsanalyser som utvärderas i denna rapport är filtrerade och är de som befinner sig inom dagbrottsdesignen för Tapuli K nr 1 (centrala och norra dagbrotten) liksom Tapuli K nr 4.

6.2.1 Fysikaliska och geotekniska egenskaper

Gråberget utgörs av lossprängt berg med en stor spännvidd på förekommande styckefall, alltifrån block på upp till 1 meter i diameter till siltpartiklar med en partikeldiameter av storleksordningen 10 µm. Huvuddelen av gråbergsmaterialet utgörs dock av grov sten och grus.

Resultat från undersökningar av gråbergets kornstorleksfördelning genomförda på prover från deponerat gråberg från Tapuli dagbrott under 2014 visade att ca 50–60 % av provmaterialets vikt utgjordes av fraktion 22–125 mm, ca 5–20 % av vikten utgjordes av fraktion >180 mm och att ca 5–10 % utgjordes av fraktion <10 mm.

Porositet för denna typ av materialblandning ligger normalt på ca 35–38 vol-% med en vattenhalt på ca 8–12 vol-%. Gråbergets kornstorleksfördelning och dess väldränerande egenskaper ger ett geoteknisk stabilt material med låg vattenhållande förmåga.

6.3 Mineralogisk undersökning

En mineralogisk undersökning har utförts på de huvudsakliga bergarter som förekommer inom Tapuliminerali seringens nuvarande dagbrott samt dess södra öra. De två schistproverna från Sahavaara dagbrott bedöms motsvara den schist som i undantagsfall påträffas även i Tapuli.

De huvudsakliga bergarterna i Tapulifyndigheten är skarn samt kvartsit och marmor (kalcit och dolomit) med inslag av fyllit och kvartsit. De mineralogiska analyserna visar att förekommande sulfider består av magnetkis, pyrit samt mindre andel kopparkis med spår av blyglans och zinkblände. Koppar och zink är anrikat relativt bakgrundshalt medan bly motsvarar bakgrundshalt. Anrikningen av koppar och zink är troligen i form av de identifierade sulfiderna.

I marmorprovet (TPL08029 50–60 m) påträffades både kalcit och dolomit medan det i magnetitskarnprovet (TPL08MET06 215,1–215,9 m) enbart påträffades kalcit. Både kalcit och dolomit är påtagligt buffrande mineral med snabb reaktivitet.

TPL09012 130–140 m är en fyllit och domineras av augit och klorit. I lägre halter förekommer apatit och kaliumfältspat. Inga sulfider har påträffats i den mineralogiska undersökningen. TPL08029 50–60 m, ett marmorprov domineras av kalcit-dolomit med mindre mängd sulfider (pyrit, magnetkis och kopparkis). Andra mineral i lägre halt är kaliumfältspat, apatit, zirkon och flogopit. Omvandling av kalcit och dolomit är försumbar. Mindre mängd relikt amfibol påträffades vilken till stor del ersatts av fältspatsmineral. TPL08MET05 215,1–215,9 m är en massiv sulfidlins som domineras av magnetkis med mindre separation av pentlandit från den bildade magnetkisen. I provet identifierades ingen pyrit.

Tabell 1 Sammanställning av mineralogisk undersökning av de vanligaste bergarterna i Tapuli dagbrott.

	Formel	SAH07007	SAH07011	TPL09012	TPL08029	TPL08MET05
Djup från (m)		320	80	130	50	215.1
Djup till (m)		330	90	140	60	215.9
Mineral	Bergartstyp	Schist	Schist	Phyllite	Marble	MASU
Amfibol					*	
Apatit		*	**	**	*	
Augit		***	**	***		
Baryt						*
Kalcit					***	**
Kopparkis					**	**
Klorit				***		
Koffinit			*			
Dolomit					***	
Pentlandit						**
Fourmarierit		*				
Blyglans		*	*			
Granat				*		
K-Fältspat		**	**		**	
Magnetit						**
Melonit						*
Monazit						*
Organiskt material		**	***			
Orthobrannerit			*			
Flogopit		***	***		**	
Plagioklas		**		**		
Pyrit		**	***		**	*
Magnetkis/Magnetekis		***	**		**	***
Kvarts		**	***			
Rutil			*			
Zinkblände			*			
Zirkon			*	*	*	

*Spår <1% yttäckning
** Låg andel 1-10% yttäckning
*** Stor andel >10% yttäckning

6.4 Utvärdering av fullanalys från prospekteringsborrningar, karakterisering samt produktionsborrning – Tapuli dagbrott relativt Tapuli K nr 4

Huvudelement

Huvudelementen utvärderas för att bedöma om signifikanta skillnader i genomsnittlig bergartssammansättning föreligger mellan nuvarande gråberg i deponi (från Tapuli K nr 1) och framtida gråberg från Tapuli K nr 4. Huvudelementen som utvärderas utgörs av Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn och Si, där järnhalten begränsats till <15 vikt-% i bedömningen av alla analyser eftersom malm inte ingår i gråberg. I utvärderingen har även S lagts till även om den traditionellt inte anses tillhöra huvudelementen.

För Tapuli K nr 1 är de genomsnittliga halterna för de utvalda ämnena presenterade i Tabell 2 medan halter i Tapuli K nr 4 är presenterade i Tabell 3. Vid en jämförelse mellan huvudelementen framgår att den huvudsakliga skillnaden i medelhalt är att aluminium-, järn-, kisel- och svavelhalten är något högre i Tapuli K nr 1 samtidigt som kalcium- och magnesiumhalten är något lägre. Förklaringen till ovanstående är att karbonatandelen är större i Tapuli K nr 4. Detta medför en ökad andel kalcium och magnesium samtidigt som andelen silikatbergarter minskar.

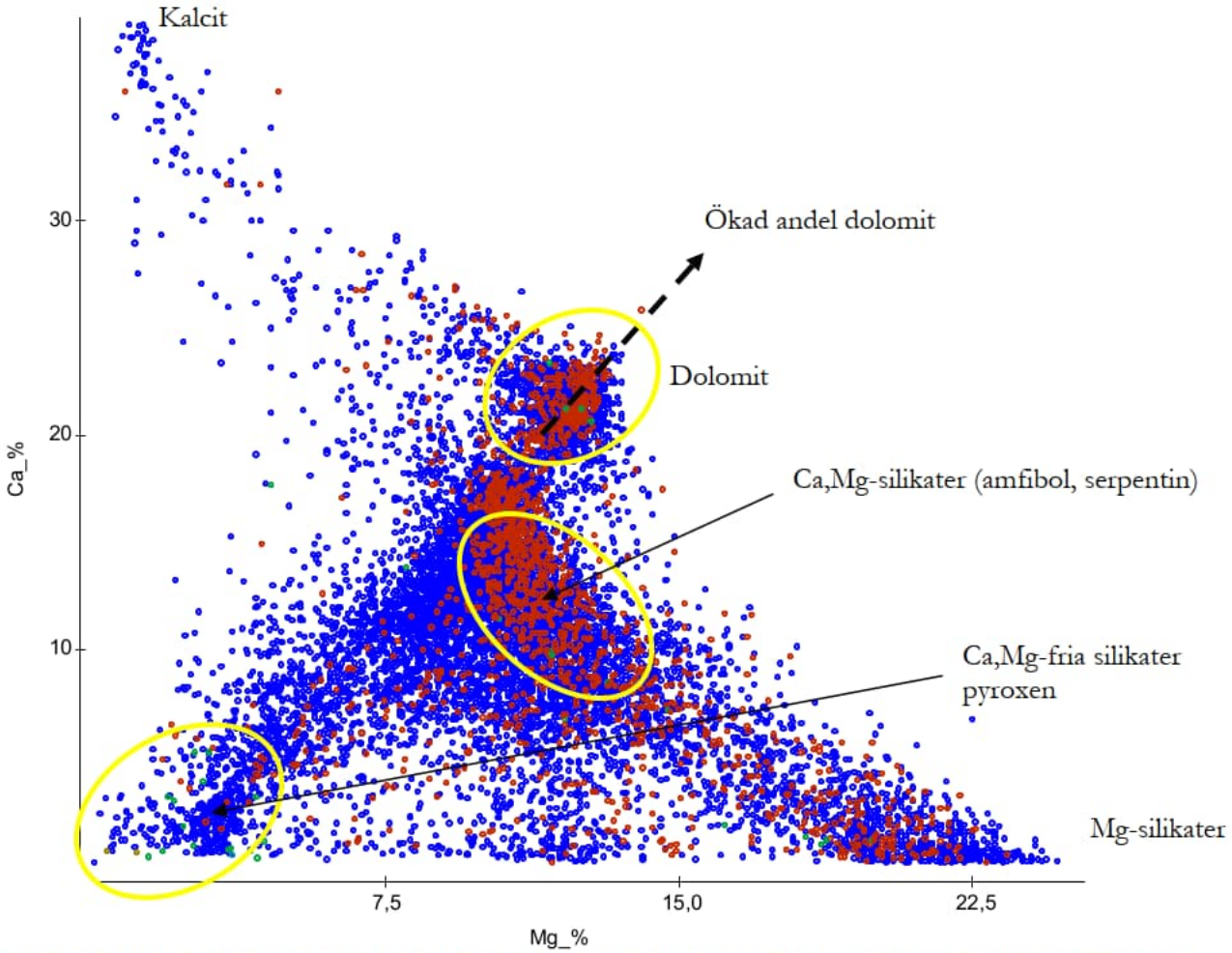
Tabell 2 Sammanställning av statistisk information om alla analyser utförda inom Tapulifyndigheten (Tapuli K nr 1) med <15 vikt-% Fe.

Ämne	Antal analyser	Medel	Median	StdAvv	Min	Max	Lower 25e %til	Upper 25e %til
Al__%	9072	2,45	1,45	2,40	0,01	10,6	0,51	3,9
Ca_%	9072	11,46	11,20	6,79	0,03	39,2	6,58	15,9
Fe_%	9072	6,38	5,94	3,78	0,35	14,9	3,4	8,9
K %	9072	0,82	0,40	1,16	0,025	7,9	0,14	1,0
Mg_%	9072	10,88	10,70	4,16	0,05	25,3	8,9	12,4
Mn %	9072	0,08	0,06	0,08	0,008	1,74	0,05	0,09
S_%	9072	0,45	0,10	1,02	0,001	13,65	0,03	0,33
Si_%	9072	17,28	19,90	7,77	0,01	43,9	14,0	22,7

Tabell 3 Sammanställning av statistisk information om alla analyser utförda inom Tapuli K nr 4 med <15 vikt-% Fe.

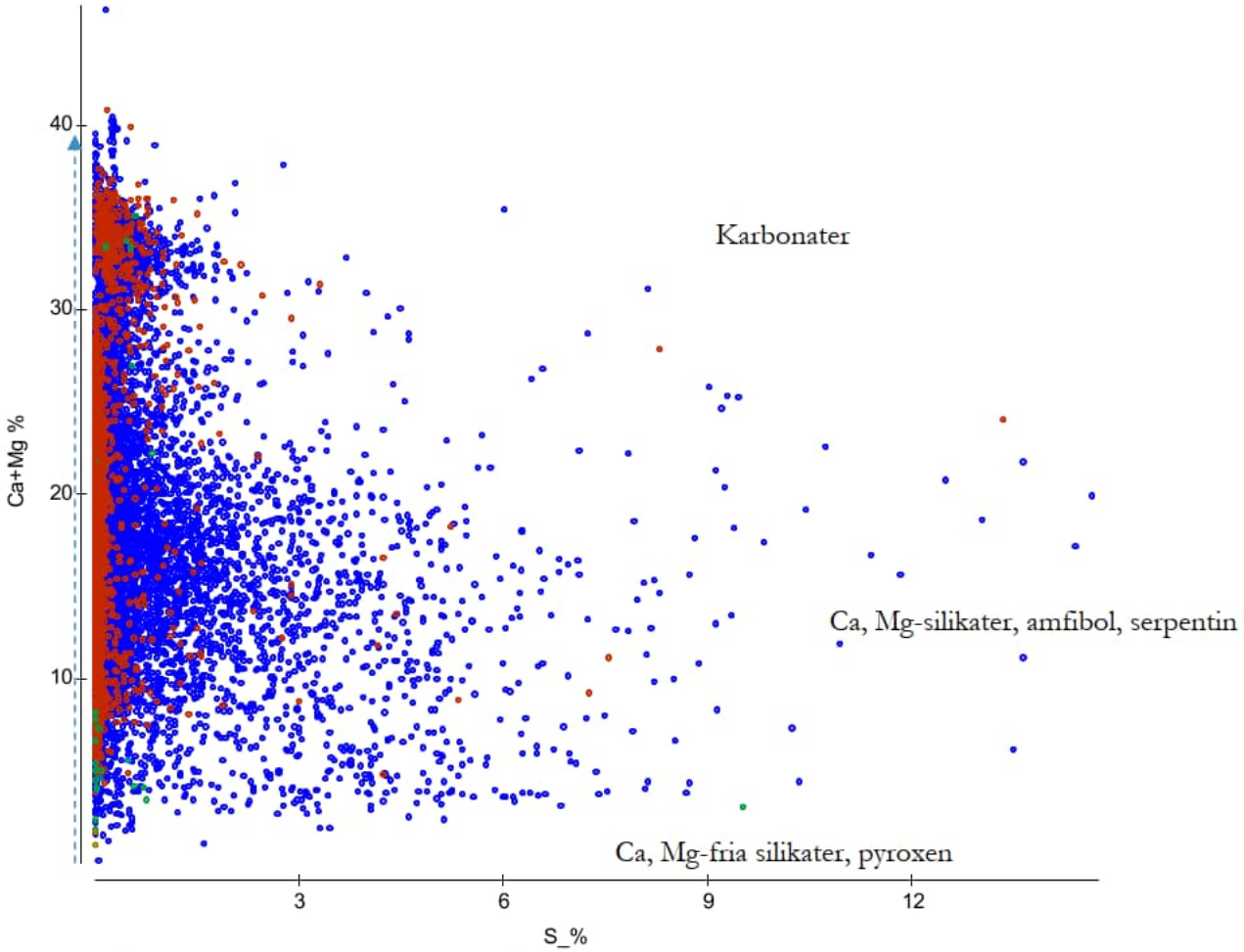
Ämne	Antal analyser	Medel	Median	StdAvv	Min	Max	Lower 25e %til	Upper 25e %til
Al__%	1485	1,66	0,87	2,07	0,01	10,9	0,3	1,9
Ca_%	1485	12,51	12,68	6,90	0,005	36,1	7,1	17,5
Fe_%	1485	5,47	4,32	3,74	0,34	14,95	2,5	8,0
K_%	1485	0,80	0,3	1,16	0,025	8,2	0,1	1,1
Mg_%	1485	12,25	11,63	3,39	0,85	23,4	10,6	13,0
Mn %	1485	0,09	0,05	0,14	0,01	1,57	0,04	0,08
S %	1485	0,17	0,04	0,45	0,001	8,31	0,01	0,14
Si %	1485	16,36	19,7	8,69	0,05	29,2	11,2	23,3

Svavelhalten är den som förändras mest procentuellt sett vid en jämförelse mellan Tapuli K nr 1 och Tapuli K nr 4, från 0,45 vikt % i genomsnitt ned till 0,17 vikt %. Detta i kombination med att andelen karbonat ökar ger en ökad kvot mellan buffrande och potentiellt syrabildande förmåga. Någon signifikant skillnad i sammansättning mellan de två brytområdena i fyndigheten avseende huvudelementen bedöms således inte finnas utan den marginella skillnad som föreligger är i fördelningen mellan bergarterna. Detta kan illustreras genom förhållandet mellan de olika huvudelementen. Exempelvis kalcium och magnesium (Figur 7) vilka framför allt ingår i gråbergets marmor (kalcit, dolomit). Figur 7 visar vilka prov som i huvudsak har en kalcitsammansättning, vilka som har en dolomitisk, eller magnesitsammansättning samt vilken andel av respektive delprov som består av dolomit respektive Ca,Mg-silikater (pyroxen och amfibol). Från figuren framgår att andelen av det totala antalet delprov som har en dolomitisk sammansättning är högre för Tapuli K nr 4 jämfört med Tapuli K nr 1. Andelen som är uppblandad med andra bergarter är även lägre.



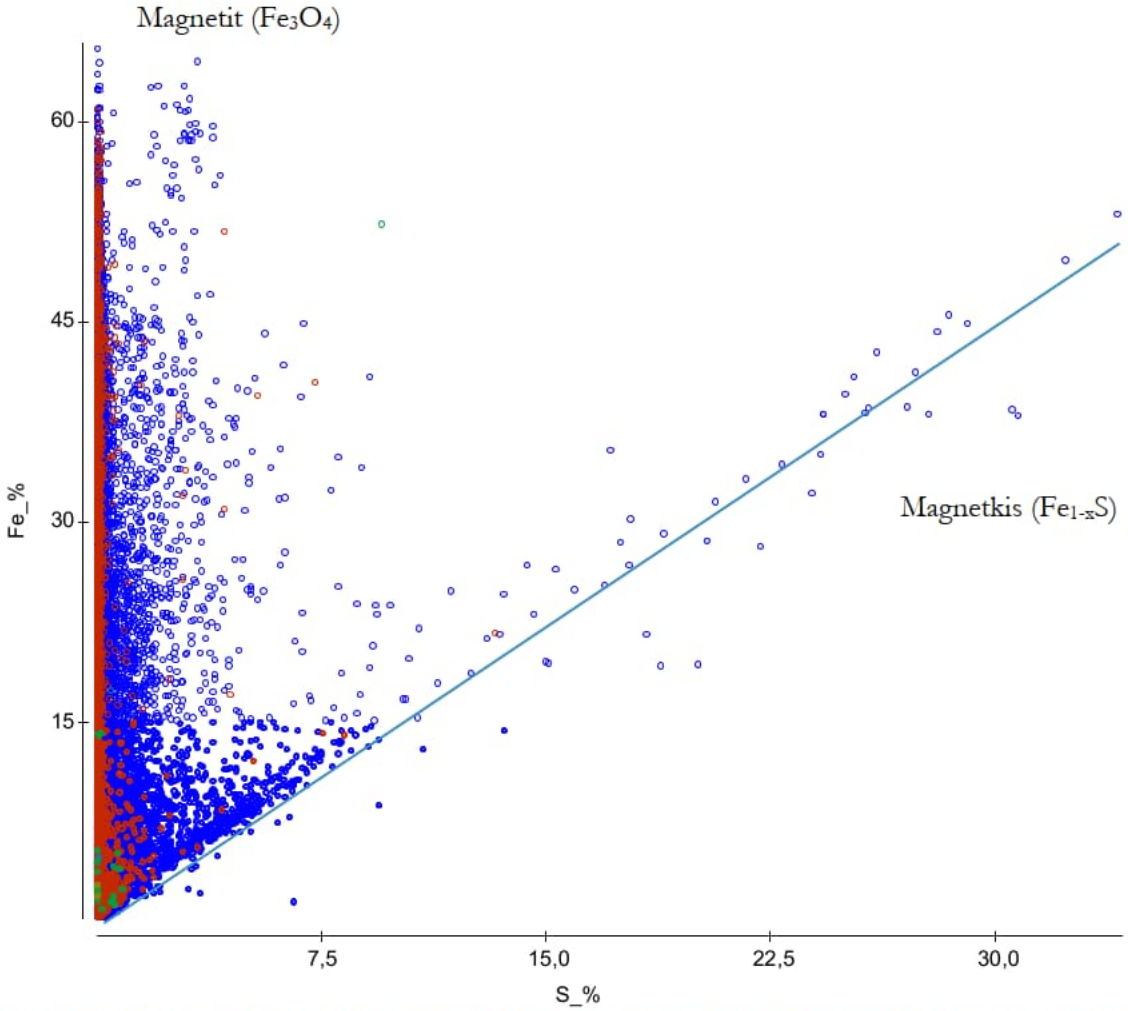
Figur 7 Förhållande mellan Ca och Mg, blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Indikerat i figuren är bedömda delområden för de ingående mineralen. Svart streckad linje anger ökad andel dolomit i provet Förekomst av kalcit respektive magnesit baserad på halter indikerad mot ytterkanterna. Delprover med <15 vikt-% Fe redovisade.

Studerar man förhållandet mellan kalcium plus magnesium relativt svavel (Figur 8) så är det tydligt att förutom att summan av kalcium och magnesium är något högre generellt i Tapuli K nr 4 så är även svavelhalten något lägre utöver att halter där delprov med mer än 5 vikt % svavel i stort sett saknas.

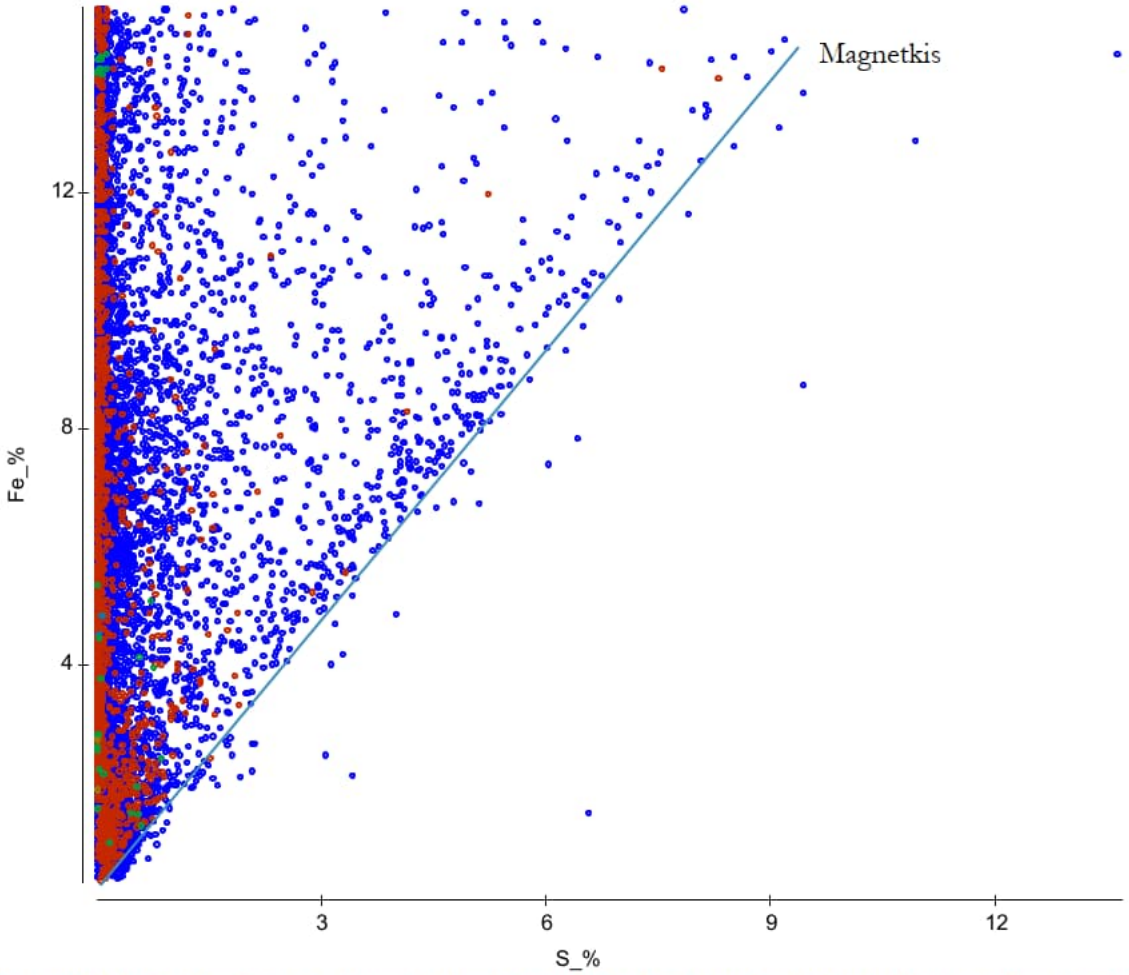


Figur 8 Förhållande mellan Ca plus Mg samt svavel, blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Delprover med <15 vikt-% Fe redovisade.

En utvärdering av svavel visar att det finns ett tydligt förhållande till järn (Figur 9). En andel av delproverna uppvisar ett tydligt linjärt förhållande mellan järn och svavel med ett molförhållande nära 1. Detta visar att svavel förekommer som magnetkis. För övriga delprover finns ingen korrelation och halterna av svavel underskrider generellt ca 5 vikt %. Det framgår tydligt av denna figur att förekomsten av magnetkis är betydligt mindre i Tapuli K nr 4 jämfört med Tapuli K nr 1. De högre svavelhalter som förekommer (>5 vikt %) förekommer även huvudsakligen i malmpartier (dvs. de uppträder tillsammans med en hög halt av järn) vilket innebär att de kommer att rapportera till anrikningssanden (flotationssand) i det fall denna del av fyndigheten bryts och inte till gråbergsdeponin. Detta framgår tydligare av Figur 10 där järnhalten trunkerats till ca 15 vikt-%.



Figur 9 Förhållande mellan järn och svavel. Blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Alla delprover redovisade. Blå linje anger magnetkis.



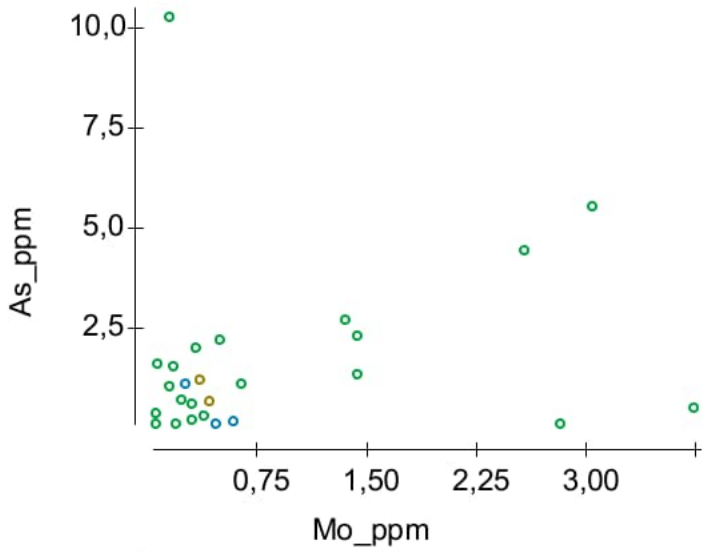
Figur 10 Förhållande mellan järn och svavel. Blå cirkel Tapuli K nr 1, röd cirkel Tapuli K nr 4. Alla delprover redovisade. Blå linje anger magnetkis.

Spårämnen

I prospekteringsborrningarna har arsenik, koppar, fosfor analyserats och rapporteringsgränsen var 100 ppm. I de utvalda representativa delproverna från Tapuli har en komplett analys utförts avseende spårelement.

Arsenik

Arsenik uppvisar inte någon tydlig korrelation till något annat analyserat ämne om inte en delmängd av proverna med korrelation till molybden, uran och koppar väljs ut och delvis även till svavel. Medelhalten är 1,6 ppm medan medianen är 1,1 ppm. Arsenikhalten är således låg och understiger svensk bakgrundshalt (SGU 2014).



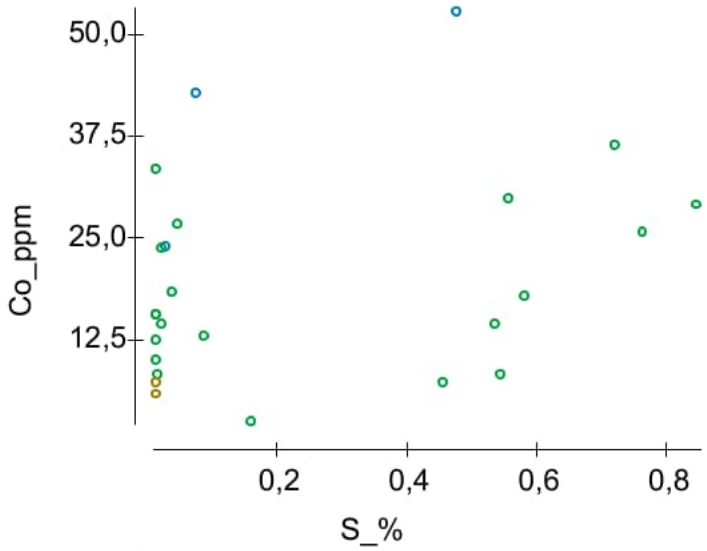
Figur 11 Förhållandet mellan arsenik och molybden

Kadmium

Kadmium uppvisar inte heller någon tydlig korrelation till något annat ämne. Kadmium uppvisar generellt eller låg, konstant halt förutom i prov från marmor där halten är något högre. Medelhalten är 0,15 ppm och medianhalten 0,015 ppm medan maxhalten är 3,3 ppm.

Kobolt

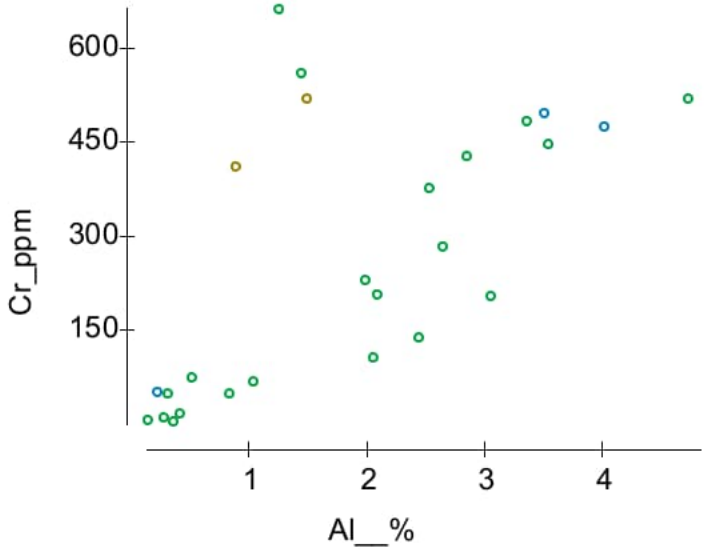
Kobolt uppvisar en korrelation till järn, koppar, nickel men ett relativt svagt samband med svavel som helhet. Detta förklaras med att en delmängd av delproverna verkar uppvisa en viss korrelation mellan kobolt och svavel medan den andra delmängden varierar oberoende av svavel. Detta innebär att kobolt (och antagligen även nickel) substituerar för järn i både sulfider och silikater. På grund av den låga järnhalten så bedöms inget av proven innehålla signifikanta halter av magnetit. Medelhalten av kobolt är 52 ppm i medel och 17 som median. Maxhalten i massiv sulfid är 863 ppm.



Figur 12 Förhållandet mellan kobolt och svavel

Krom

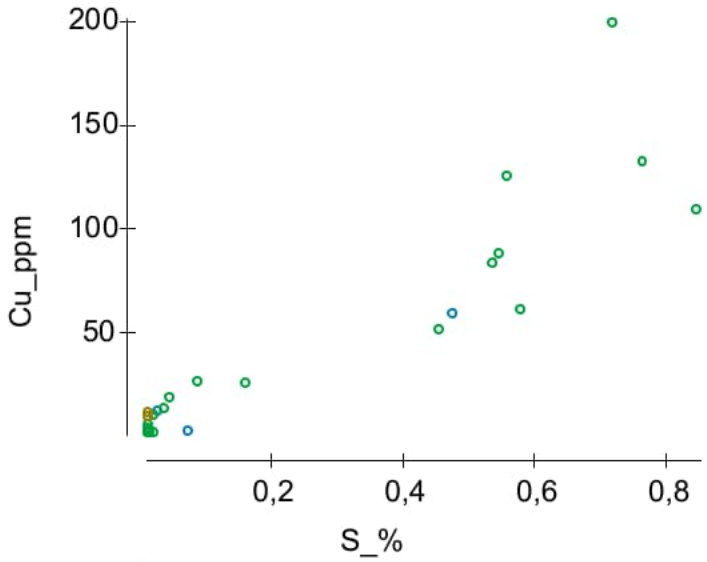
En viss korrelation finns till aluminium, kalium och en god korrelation till kisel och titan. Krom förekommer således troligen i silikater samt i marmor. Medelhalten är 265 ppm medan medianhalten är 220 ppm och maxhalten är 665 ppm.



Figur 13 Förhållandet mellan krom och aluminium.

Koppar

Koppar uppvisar en mycket god korrelation till svavel, detta förklaras med förekomsten av kopparkis. Medelhalten är 129 ppm och medianhalten 16 ppm. Skillnaden förklaras genom en betydligt högre kopparhalt i de massiva sulfiderna.



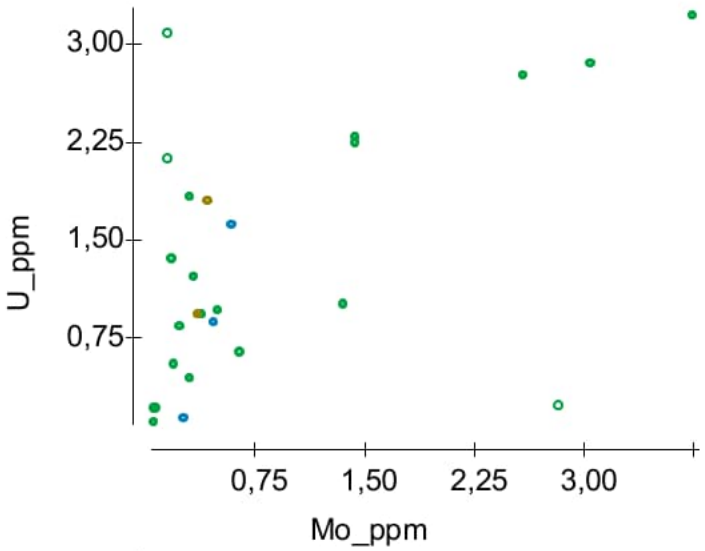
Figur 14 Förhållandet mellan koppar och svavel

Kvicksilver

Kvicksilver uppvisar inte någon korrelation till något annat ämne. Medelhalten är 0,017 ppm och medianhalten 0,018 ppm. Maxhalten är 0,0298 ppm.

Molybden

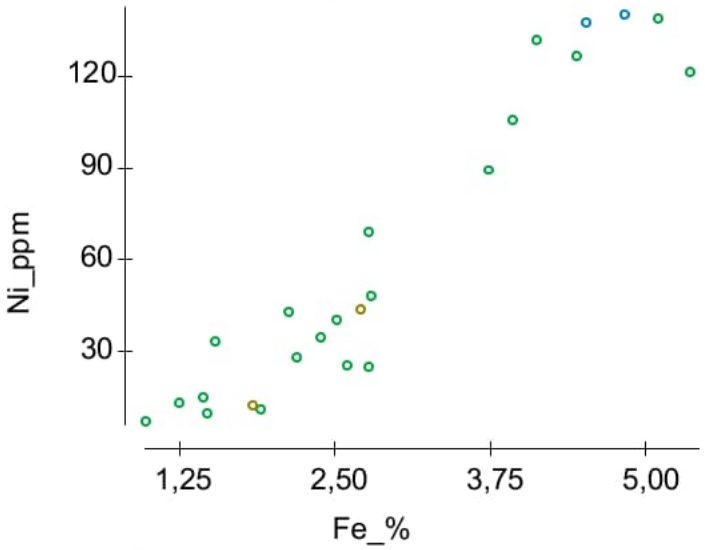
Molybden uppvisar ingen korrelation till något annat ämne undantaget möjligen arsenik och uran där en delmängd kan korrelera. Om dessa delprover väljs specifikt så finns även en korrelation till koppar och en viss till svavel vilket skulle kunna indikera att för dessa delprover så förekommer molybden i association till kopparkis tillsammans med arsenik och uran. De behöver dock inte specifikt vara en del av kopparkisens kristallstruktur. Medelhalten är 0,84 ppm och medianhalten 0,36 ppm, Maxhalten är 3,7 ppm.



Figur 15 Förhållandet mellan uran och molybden

Nickel

Nickel uppvisar en mycket god korrelation till järn, både vid låga halter då järn framför allt förekommer i silikater (serpentin) liksom vid högre halt i sulfider. Nickel uppvisar dessutom en låg korrelation till svavel vid halter under 0,8 vikt-% svavel varför nickel vid dessa halter substituerar för järn i silikater som serpentin. Som tidigare påpekats korrelerar nickel väl med kobolt. Medelhalten för nickel är 203 ppm medan medianhalten är 44 ppm, medelhalten dras upp av nickel i den massiva sulfiden påvisades kunna ha en nickelhalt på 3 724 ppm.



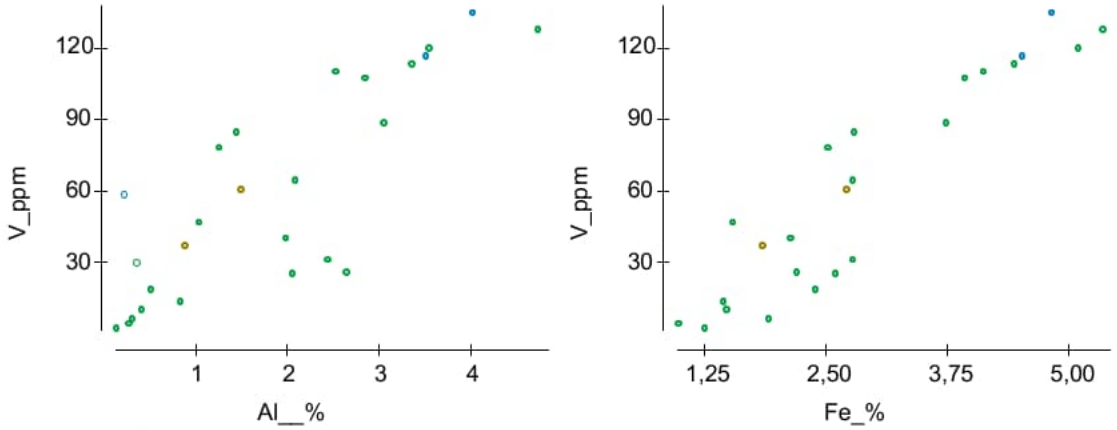
Figur 16 Förhållandet mellan nickel och järn vid en järnhalt understigande 5 vikt-%.

Bly

Bly uppvisar ingen korrelation till något annat ämne, medelhalten är 9 ppm och medianhalten 2,4 ppm. Medelhalten dras upp av maxhalten (170 ppm) i marmorprovet. Detta antyder att bly kan förekomma som blykarbonat (cerrusit).

Vanadin

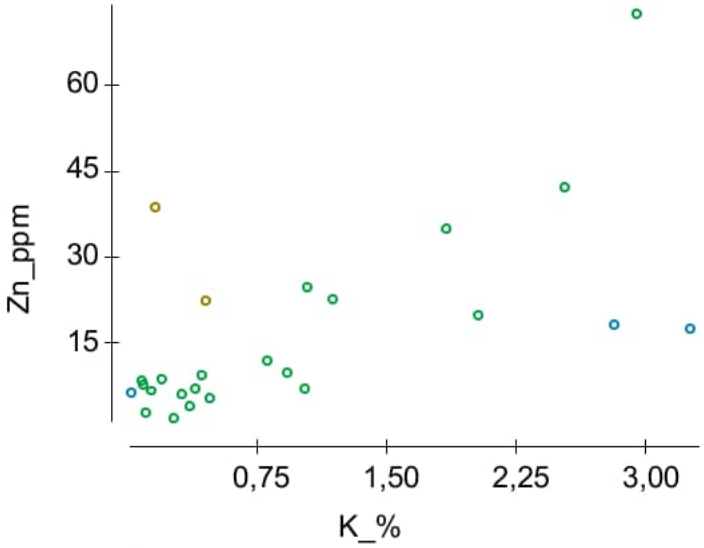
För vanadin finns en god korrelation till aluminium, kalium, kisel, krom, titan och zink (för en delmängd av proverna) men en negativ till kalcium och magnesium vilket visar att vanadin troligen är bundet i silikater. För låga järnhalter (<5 vikt-%) finns en mycket god korrelation till järn. Detta stöder hypotesen att vanadin ingår i silikatmineral. Medelhalten för vanadin är 60 ppm med en medianhalt på 53 ppm. Maxhalten är 135 ppm.



Figur 17 Förhållandet mellan vanadin och aluminium samt järn.

Zink

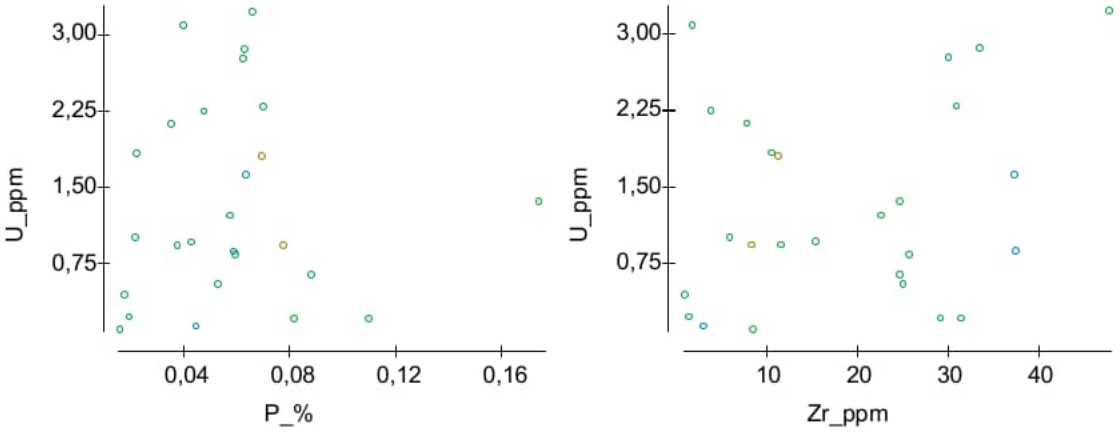
Zink uppvisar en korrelation till aluminium, kalium, krom, mangan, natrium (en delmängd) titan och vanadin i alla litologier utom marmor. Till kalcium och magnesium finns en negativ korrelation vilket tillsammans med den generellt mycket låga zinkhalten i marmorproverna stöder att zink inte förekommer i karbonatmineral. I ett av marmorproverna var dock zinkhalten tydligt förhöjd (1 140 ppm). För zink generellt finns ingen god korrelation till svavel varför zink huvudsakligen bedöms finnas i silikatmineral. Medelhalten är 60 ppm och medianhalten 9,5 ppm. Medelhalten dras upp av extremvärdet i ett av marmorproverna.



Figur 18 Förhållandet mellan zink och kalium

Uran

Uran uppvisar inte någon god korrelation till något annat ämne möjligen undantaget de två andra oxyanjonerna molybden och arsenik. Uran uppvisar ingen korrelation till fosfor eller zirkonium och ingår således med stor sannolikhet inte i vare sig apatit eller zirkon i nämnvärd utsträckning. Uranhalten är i medel 1,3 ppm och med ett medianvärde på 1 ppm. Maxhalten är 3 ppm.



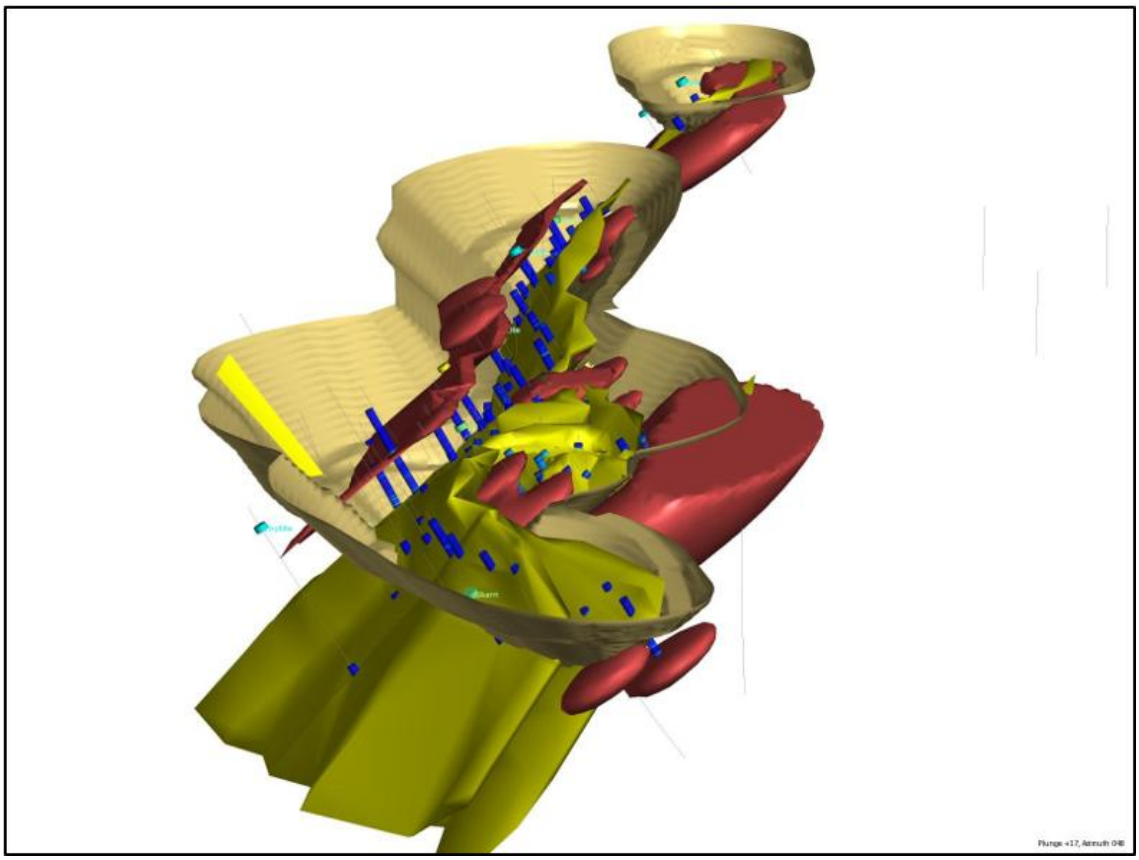
Figur 19 Förhållandet mellan uran och fosfor respektive zirkonium.

6.5 Buffrande egenskaper

Vid karakteriseringen av gråberg i Tapuli utfördes utöver de s.k. ABA-testerna även NAG-tester. NAG-testerna bekräftade resultatet från ABA-testerna samt definierade svavelhaltsgränsen för särhållning (vilken sedermera bekräftades av genomförda fuktkammarförsök). Eftersom NAG tester inte ingår i kriterierna för klassning av utvinningsavfall så gås inte dessa igenom i detta avsnitt.

6.5.1 ABA - karakterisering samt produktionsborrning i Tapuli dagbrott

I samband med utvärderingen av prospekteringsborrningarna, modellering av de geologiska enheterna (och deras genomsnittliga svavelhalt) samt dagbrottets utbredning så bedömdes sulfidhalt >0,5 vikt-% svavel kunna klassificeras som PAF (bedömt utifrån NAG pH på de uttagna delproverna). Modelleringen inkluderade även Tapuli K nr 4 (Figur 20). Resultatet från modelleringen visade att man inte kunde förvänta sig partier med >0,5 vikt-% svavel i gråberg från Tapuli K nr 4. Två mindre partier av sulfidrikare material modellerades men dessa ligger i liggväggen och kommer inte brytas (Figur 20).



Figur 20 Vy från sydväst på Tapuli dagbrott och lokalisering av delprover för karakterisering avseende buffrande egenskaper. Gul färg anger järnmineralisering och röd färg anger svavelhalt >0,5 vikt-%. Brunt anger det använda skalet för modellerat dagbrott.

Den genomsnittliga svavelhalten från prospekteringsborrningar i hela Tapulifyndigheten (22 457 delprov) visar en genomsnittlig halt på 0,37 vikt-%, medianhalten var samtidigt 0,07 vikt-% vilket indikerar att medelvärdet dras upp av de identifierade sulfidlinserna i anslutning till mineraliseringen.

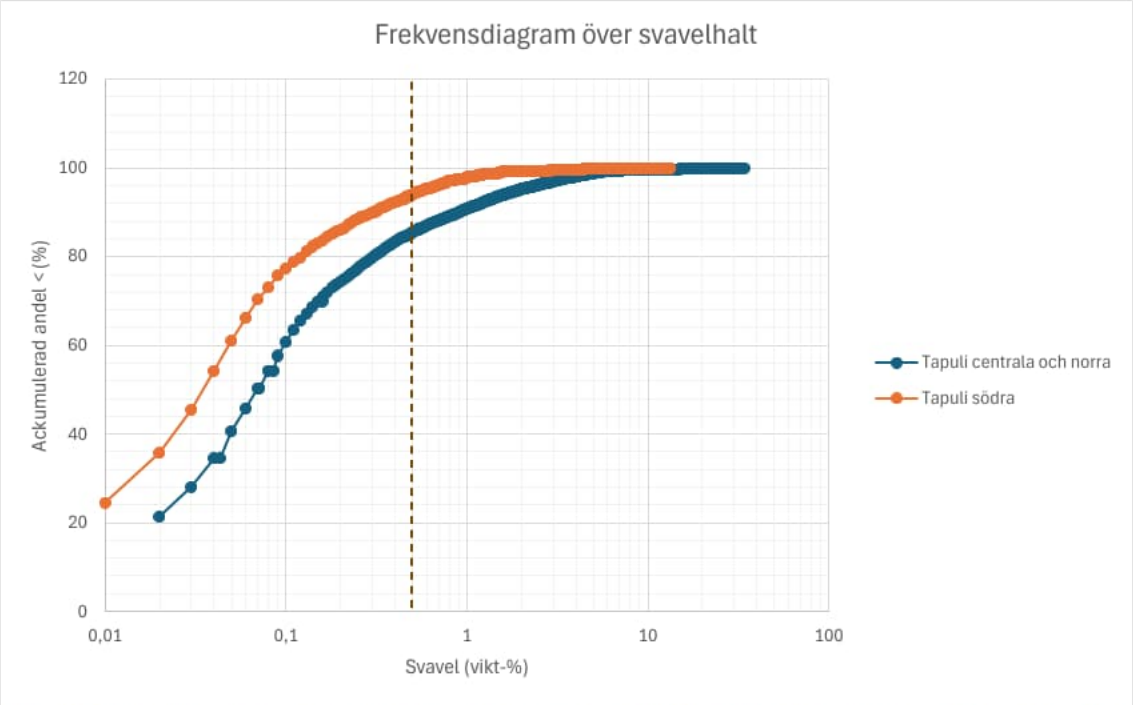
Enbart Tapuli K nr 1 hade en genomsnittlig halt på 0,40 vikt % i prospekteringsanalyserna. Proverna uttagna 2010 (SRK 2010) från Tapulifyndigheten hade en genomsnittlig svavelhalt på 0,6 vikt % vilket innebär att sulfidrikare material än i genomsnitt hade valts för de olika litologierna i den detaljerade karakteriseringen.

6.5.2 Buffrande egenskaper Tapuli K nr 4

Resultatet i föregående avsnitt, tillsammans med Figur 20 visar att svavelhalten i Tapuli K nr 4 således generellt kan förväntas vara lägre än genomsnittet på vad som hittills har brutits ut i Tapuli K nr 1 (genom att svavelhalten sjunker i gråberget då Tapuli K nr 4 ingår i analysen på prospekteringsborrningar).

Från Tapuli K nr 4 finns totalt 2 825 delprover analyserade med en genomsnittlig svavelhalt på 0,14 vikt-% och en medianhalt på 0,04 vikt-%. Samtidigt är maxhalten 13,35 vikt-% vilket kan jämföras med den från övriga Tapulifyndigheten där den uppgår till 34,1 vikt-%. Svavelhalten i alla borrkärneprover från Tapuli K nr 4 är således lägre än för Tapuli K nr 1.

Baserat på svavelfördelning från prospekteringsborrningen i form av ett frekvensdiagram så är det tydligt att svavelhalten genomgående än lägre i Tapuli K nr 4. 93,9 % av delproverna underskrider 0,5 vikt-% svavel att jämföra med 85,5 % i Tapuli K nr 1.



Figur 21 Presentation av svavelfördelning i prospekteringsanalyser från Tapuli K nr 1 (Tapuli centrala och norra) jämfört med Tapuli K nr 4 (Tapuli Södra).

I det framtida gråberget från Tapuli K nr 4 så finns i prospekteringsborrningarna 1 588 analyser med en järnhalt <15 vikt %. I dessa prover som representerar framtida gråberg från Tapuli K nr 4 så är den genomsnittliga svavelhalten 0,17 vikt % och med en maximal halt om 8,3 vikt % vilket kan jämföras med det hittills brutna gråberget från Tapuli K nr 1 där, baserat på produktionsanalyser med <15 vikt-% järn, svavelhalten i medel varit 0,37 vikt-% och med en maxhalt på 13,1 vikt-%.

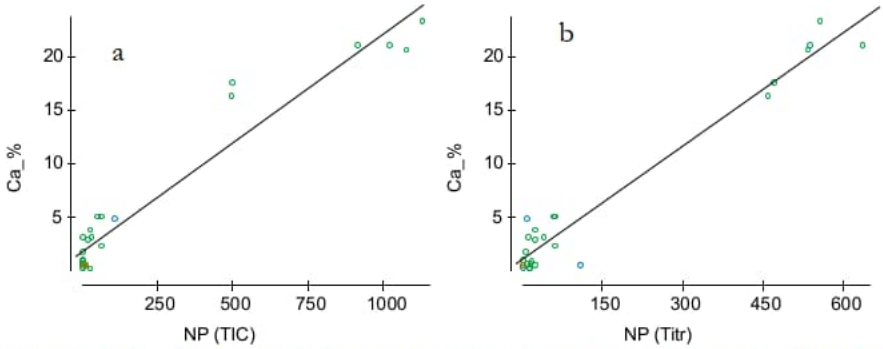
Baserat på prognosen från ABA-test i karakteriseringen från 2010, förväntad andel av de ingående litologierna samt modellerad svavelhalt och buffrande förmåga så bedömdes Tapulifyndigheten som helhet vara nettobuffrande med en NNP (NP_titrerad) på 88,16 kg $CaCO_3$-ekvivalenter/ton vilket även

kan redovisas som en NPR (NP_titrerad) på 23,82. Resultatet från produktionsanalyserna (1 832 analyser med underlagsdata) visar att genomsnittlig NNP 2021 2025 har varit 224 kg $CaCO_3$ ekvivalenter/ton med en median på 57,35 $CaCO_3$-ekvivalenter/ton. Motsvarande NPR har varit 23,9 under perioden. Det erhållna resultatet under dessa år motsvarar således väl den prognos som togs fram vilket även inkluderade Tapuli K nr 4.

Avseende de buffrande egenskaperna så kommer brytning i planerad bearbetningskoncession att bidra till en lägre svavelhalt som helhet i gråbergsdeponin. Detta eftersom Tapuli K nr 4 innehåller knappt hälften så mycket svavel i dess gråberg jämfört med Tapuli K nr 1 och en ökad buffrande förmåga (se avsnitt 4 samt 6.4) då Tapuli K nr 4 innehåller större andel marmor (kalcit och dolomit) än Tapuli K nr 1.

De buffrande egenskaperna i Tapuli K nr 4 kan härledas genom förhållandet Ca:NP och AP beräknas utifrån svavelhalt.

För NP finns två olika typer där den ena är den titrerade buffrande förmågan (NP_titrerad) och den andra är beräknad utifrån den oorganiska kolhalten (NP_oorganiskt kol) (Figur 22). Oorganiskt kol förekommer enbart i karbonat i Tapuli.



Figur 22 Förhållandet mellan kalcium och NP. NP oorganiskt kol till vänster (a) och NP titrerad till höger (b).

I Tapuli K nr 4 finns 1 483 kalciumanalyser på prov med <15 vikt % järn. Medelhalten i dessa prover är 12,5 vikt % kalcium vilket baserat på NP oorganiskt kol skulle motsvara 508 kg/ton $CaCO_3$ ekvivalenter (se Figur 22a). Motsvarande för den titrerade buffrande förmågan (se Figur 22b) blir 313 kg/ton $CaCO_3$-ekvivalenter.

Den genomsnittliga svavelhalten kan, i det fall den i sin helhet antas föreligga som sulfid, räknas om till syrabildande förmåga, AP, genom att svavelhalten i vikt-% multipliceras med faktorn 83,34 under antagandet om att alla sulfider förekommer som pyrit (i enlighet med standardförfarandet). Detta ger en genomsnittlig AP på 14,1 kg/ton $CaCO_3$-ekvivalenter.

Den resulterande NNP:en utifrån den mer konservativa NP_titrerad blir således som lägst 299 kg/ton $CaCO_3$-ekvivalent och med en korresponderande NPR på 22 sett som en helhet.

6.6 Kinetiska försök

Kinetiska försök utfördes på gråbergsprov från Tapulifyndigheten med för gråberget typiska halter och egenskaper (lågt respektive måttligt innehåll av svavel) på de tre dominerande litologierna (fyllit, marmor och skarn), Tabell 4. Försöken pågick upp till 140 veckor för fyllitproverna och i 40 veckor för marmor och skarn.

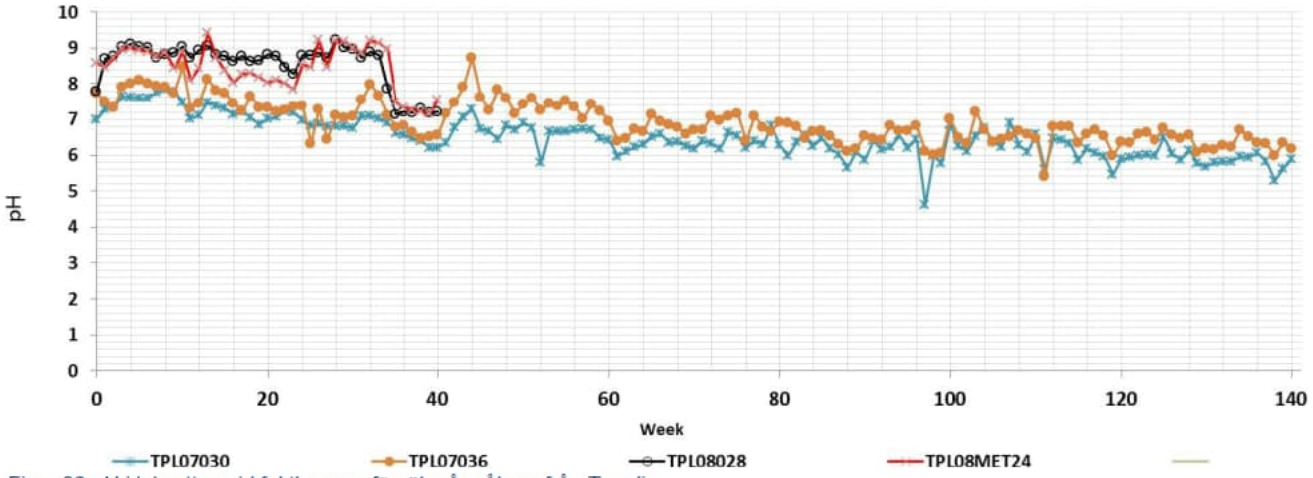
Tabell 4 Redovisning av gråbergsprov som ingick i utförda fuktkammarförsök.

ProvID	Bergart	Zon	S (%)	AP (kg $CaCO_3$/t)	NP_karb (kg $CaCO_3$/t)	Antal veckor försök
TPL07030	Fyllit	Hängvägg	0,67	21	0,9	140
TPL07036a	Fyllit	Hängvägg	0,67	21	0,8	140
TPL08028	Marmor	Liggvägg	0,39	12	919	40
TPL08MET24	Skarn	Liggvägg	<0,01	0,3	32	40

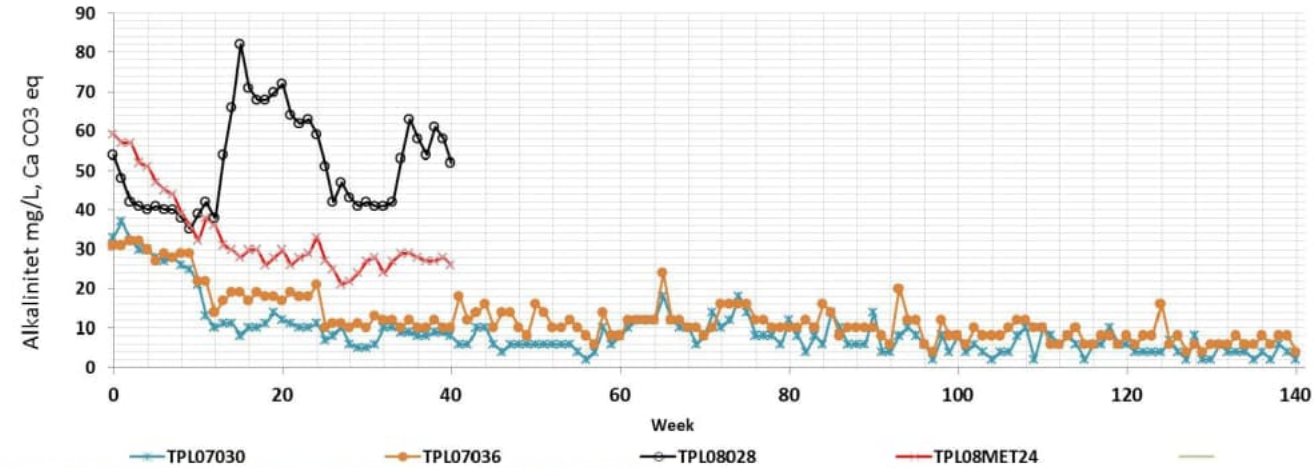
Proverna uppvisade de förväntade resultaten med pH-neutralt lakvatten (Figur 23) och ett överskott av alkalinitet (Figur 24) från det lågsvavliga skarnet och kraftigt buffrande marmor med genomsnittlig svavelhalt. Då ingen förändring av det uppsamlade lakvattnets sammansättning förväntades så kunde dessa försök avslutas efter 40 veckor.

För fyllitproverna med ett måttligt innehåll av svavel visar fuktkammarförsöket på en relativt långsam sulfidvittring utgående från sulfathalt och förbrukningen av karbonat. Gråberg av denna typ och sammansättning bedöms på lång sikt kunna bli svagt syrabildande baserat på att det ringa innehållet av karbonater förbrukats efter cirka 80–100 veckor i laboratoriemiljö (motsvarande mer än 50 år i fält under fritt exponerade förhållanden). Fuktkammarförsöket som pågick 140 veckor har hållit ett nära neutralt pH värde under denna period och därefter stabiliserats runt pH 6–6,5 (Figur 23).

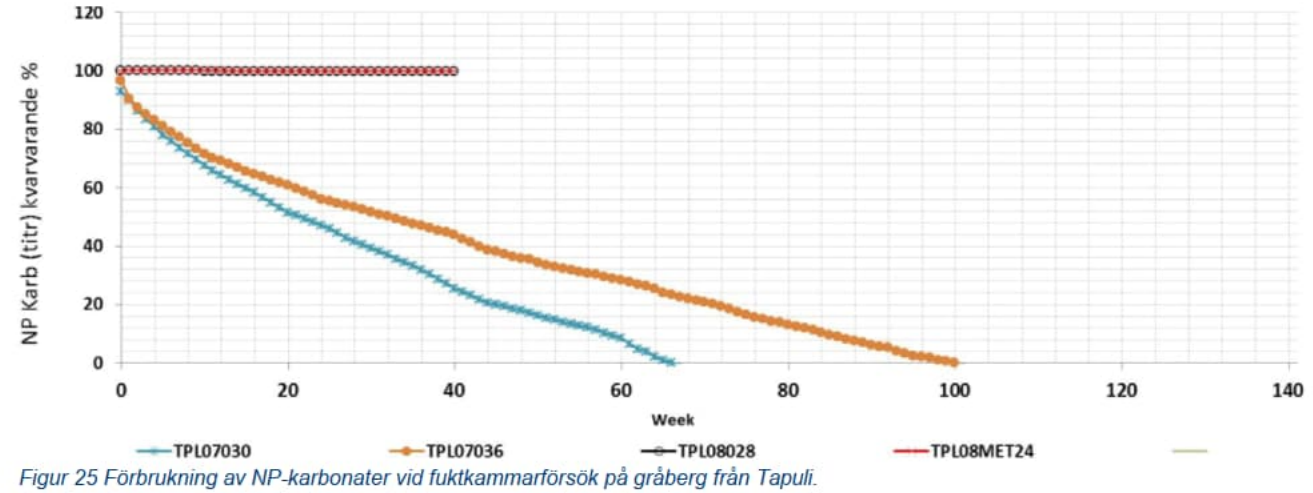
Halterna av sulfat och metaller är generellt låga (Figur 26). En marginell ökning av koppar, nickel och kobolt har noterats i proverna med ett måttligt svavelinnehåll efter ca 100 veckor pga. av det något lägre pH-värdet (Figur 27).



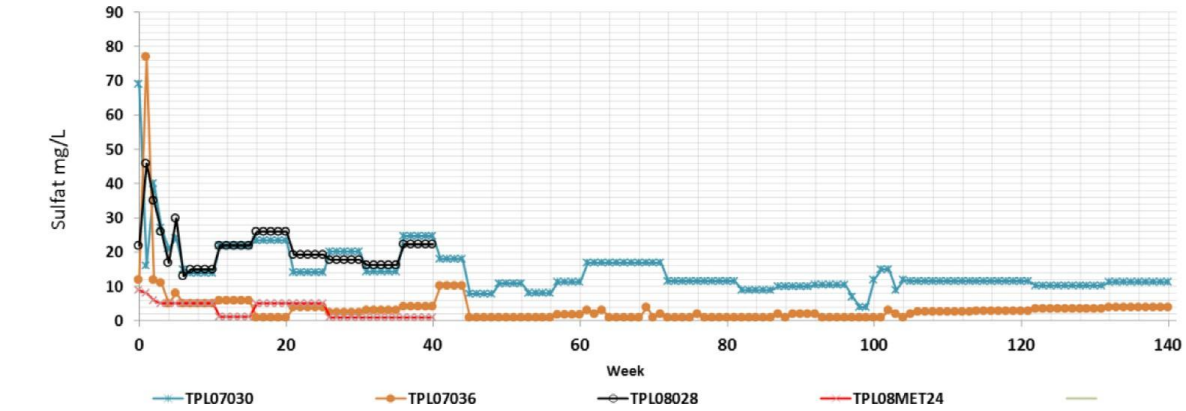
Figur 23 pH i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.



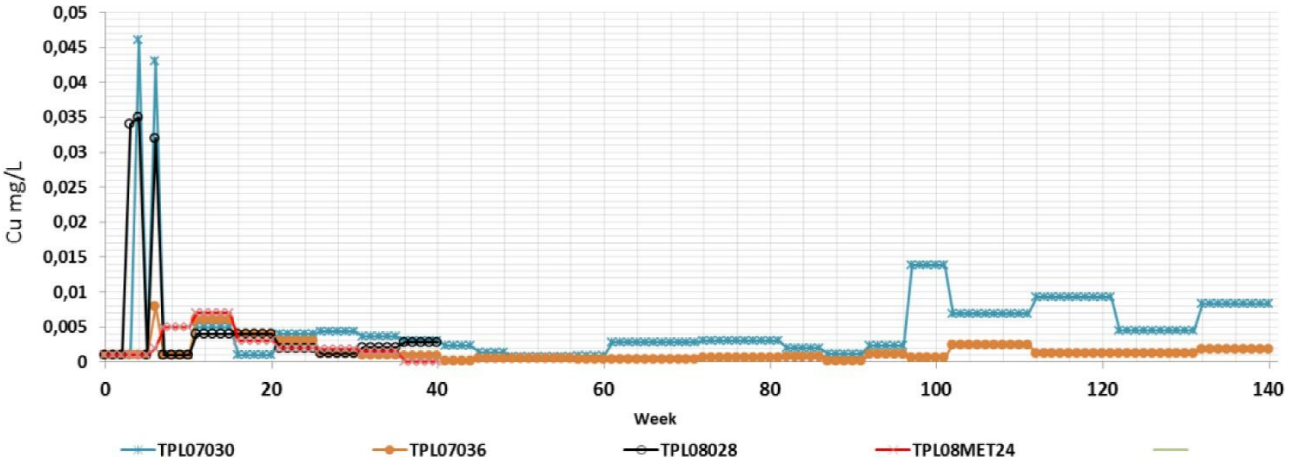
Figur 24 Alkalinitet i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.



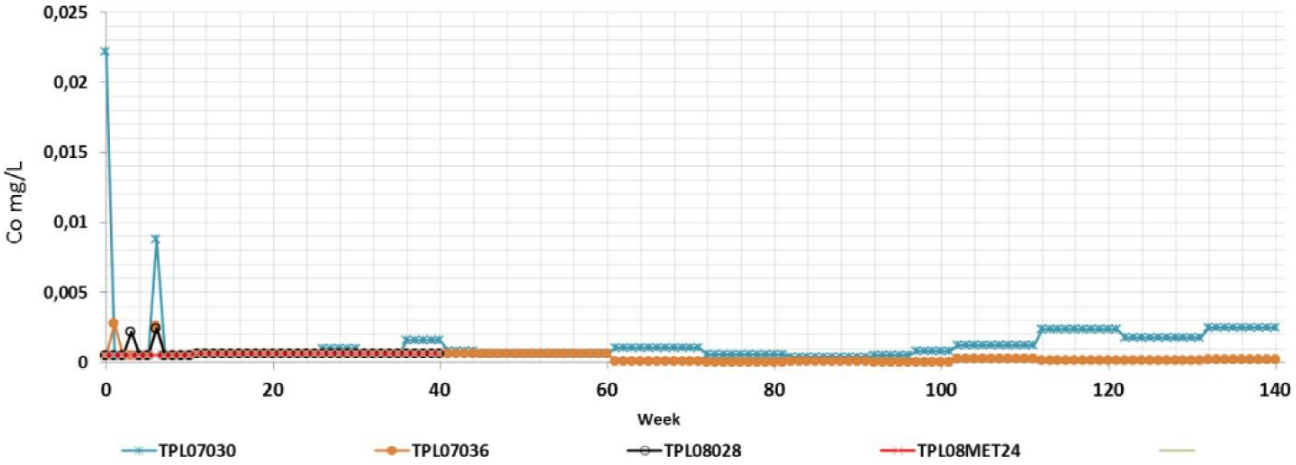
Figur 25 Förbrukning av NP-karbonater vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.



Figur 26 Sulfathalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.



Figur 27 Kopparhalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.



Figur 28 Kobolthalter i lakvatten vid fuktkammarförsök på gråberg från Tapuli.

7. Förändring av gråbergsdeponins sammansättning genom brytning av fyndigheten

För att bedöma om brytningen av Tapuli K nr 4 leder till en förändring av massbelastning så utförs en bedömning av tidigare redovisade lakvattenhalter relativt förväntad förändring utifrån tonnage och sammansättning. Förändringen utförs genom att använda samma metodik samt underlag som låg till grund för mark- och miljödomstolens deldom den 1 december 2022 i mål nr M 2090-19 och jämföra resultatet med de då antagna förutsättningarna.

7.1 Gråbergsdeponins lakvattensammansättning – tidigare redovisad modellering

I den modell som tagits fram för lakvatten från Tapuli gråbergsdeponi och låg till grund för ovan nämnd deldom har den kemiska sammansättningen beräknats utifrån lakvattendata som erhållits i fuktkammarförsök i enlighet med SRK (2014). Vattensammansättningen i den redovisade beräkningen motsvarar läget vid gruvbrytningens slut, när mängden gråberg är som störst och vittring har pågått under ett antal år.

Lakningshastighet av lösliga ämnen i lakvatten från lågsvavligt (NAF) gråberg, representativt för gråberg i Tapuli redovisas i Tabell 5.

*Tabell 5: Lakningshastighet (mg/(kg*vecka)) vid fuktkammarförsök som använts för att beräkning av lakvattenkvalitet från Tapuli gråbergsupplag.*

Parameter	SAH07009	SAH08MET23	TPL07030	TPL07036	TPL08028	TPL08MET24	Medel
S (vikt-%)	0,1	0,07	0,72	0,69	0,45	0,01	**0,34**
pH (-)	7,24	7,67	6,46	6,95	8,29	8,38	**7,50**
Alkalinitet	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**
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**
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**

Skalningsfaktorer

Gråberget i Tapuli är ett lågsulfidhaltigt material och skalningsfaktorer (enligt branschstandard och beskrivet i detalj i detta avsnitt) har använts för att anpassa laboratorietestens lakningshastighet till vad som kan förväntas från ett fullstort gråbergsupplag i Tapuli. För att ta hänsyn till de skilda förhållanden som råder vid laboratorieförsök jämfört med gråbergsdeponering på ett verkligt upplag appliceras vedertagna skalningsfaktorer för vattenkvalitetsstudier (Kempton, 2012).

Kempton (2012) presenterar en detaljerad översikt över typiska skalningsfaktorer för uppskattning av vattenkvalitet i full skala utifrån laboratorieförsök. En total lakningshastighet av lösta ämnen från hela gråbergsupplaget ($R_{fält}$) kan estimeras utifrån lakningshastighet vid laboratorietester (R_{lab}) multiplicerat med en ackumulerad skalningsfaktor, härledd från flertalet individuella skalningsfaktorer. Relationen mellan $R_{fält}$ och lakningshastighet i laboratorium beskrivs genom skalningsfaktorerna i ekvation 1.

$$R_{Fält} = R_{Lab} \times SF_{fuktighet} \times SF_{storlek} \times SF_{kontakt} \times SF_{temp} \times SF_{O2} \qquad \text{(Ekv. 1)}$$

De olika komponenterna i ekvationen definieras enligt följande:

$R_{Fält}$ = beräknad lakningshastighet i fält
R_{Lab} = bestämd lakningshastighet vid laborationstest
$SF_{fuktighet}$ = reducerad oxidation på grund av lågt fuktinnehåll
$SF_{Storlek}$ = reducerad reaktivitet på grund av olika kornstorlek mellan lab och fält
$SF_{kontakt}$ = reduktion på grund av ej genomsköljt material i gråbergsupplaget (preferentiell strömning)
SF_{temp} = skalningsfaktor för temperatur baserad på Arrhenius ekvation
SF_{O2} = reduktion av reaktiv gråbergsmassa på grund av diffusionsgränser för syre

Skalningsfaktorer och validering av använda värden enligt beskrivning nedan:

Syre, temperatur och gråbergets reaktivitet

SRK (2014) simulerade syretransport och sulfidoxidationsprocesser i NAF för Tapuli gråbergsupplag. Modellen estimerar en hög syretillgänglighet i Tapuli gråbergsupplag för NAF och syretillgången bedöms inte vara begränsande för sulfidvittring.

KIAB:s verksamhet är lokaliserat i en subarktisk miljö (vilket i det här fallet innebär en låg temperatur) varpå sulfidoxidationen endast förväntas vara ca 2,5 % av den som uppmätts i laboratoriemiljöns fuktkammarförsök, varför SF_{O2} sattes till 2,5 %.

Eftersom skalningsfaktorn för SF_{O2} redan tagit hänsyn till temperatur sattes värdet för SF_{temp} till 1 för både PAF- och NAF-modellen.

Storlek

Skalningsfaktorn för storlek tar hänsyn till att majoriteten av lösta ämnen genereras från finpartiklar. Mindre partiklar är mer reaktiva med ett högre ytarea:massa förhållande och lakar lättare än större stenar och block, varpå en mindre mängd massa krävs för utlakning av lösta ämnen. Fuktkammarförsöken utförs på material som krossats till dess att 100 % passerar 6,33 mm:s sikt, i enlighet med *"The directives of ASTM-D 5744 Humidity Cell Test Protocol"*. Det bedömdes att ca. 20 % av den totala mängden gråberg i fullskaligt gråbergsupplag korresponderar med finmaterialet som använts i HCT-försöken, varpå $SF_{Storlek}$ sattes till 0,2.

Fuktighet/fuktinnehåll

Skalningsfaktorn för fuktinnehåll är applicerbar för extremt torra förutsättningar där fukttillgången är en begränsande faktor för sulfidoxidation. För förhållanden som råder i KIAB:s verksamhet är fukt inte en begränsande faktor varpå SF_{Fukt} sattes till 1.

Kontakt

Skalningsfaktorn för vattenkontakt utgår ifrån att det både finns preferentiella zoner inom gråbergsupplaget där vatten rinner genom/har kontakt med materialet/gråberget, och att det finns zoner där vatten inte rinner/kommer i kontakt med gråberget. Vittringsprodukter som uppkommer inom delar av ett upplag med mindre vattengenomströmning förblir inom upplaget och bidrar därför inte till masstransporten av lösta ämnen från upplaget.

Erikson et al (1997) menar att skalningsfaktorn för kontakt/genomspolning av bergmaterial är 55 %. Däremot visar fältstudier i USA att mindre än 30 % av bergmassorna i ett gråbergsupplag är blötlagda eller genomspolade. Som ett konservativt antagande sattes $SF_{Kontakt}$ till 50 %.

Beräknad lakvattenkvalitet för Tapuli

Halterna i lakvatten från ett fullstort gråbergsupplag ($C_{fält}$)har för Tapuli beräknats utifrån upplagets genomsnittliga höjd ((h_{WRD}), gråbergets bulkdensitet (ϱ), infiltrationshastighet (i) och skalad lakningshastighet ($R_{fält}$) i enlighet med ekvation (1) ovan.

$$C_{fält} = h_{WRD} \times \varrho \times i \times R_{fält} \qquad \text{(Ekv. 2)}$$

Parametrar som användes för beräkningen redovisas i Tabell 6.

Tabell 6: Parametrar för beräkning av lakvattenkvalitet för Tapuli gråbergsupplag.

Parameter	Enhet	Tapuli gråbergsupplag
Genomsnittlig upplagshöjd h_{WRD}	m	75
Gråbergets (deponerat) densitet ϱ	kg/m³	1820
Infiltration i	m³/(m²*year)	0.4

Därefter användes den geokemiska modelleringskoden PHREEQC (Parkhurst och Apollo, 2013) för att beräkna mättnadsindex, utfällning av troliga övermättade mineraler till jämvikt, samt simulera "ytkomplexitet" och jonbytarreaktioner vid förekomst av ferrihydrit. Beräknad lakvattenkvalitet efter geokemisk jämvikt presenteras i Tabell 7.

Tabell 7: Modellerad löst halt i lakvatten från Tapuli gråbergsupplag

Parameter	Enhet	Modellerad lakvattenhalt **Tapuli gråbergsupplag**
pH	-	7,96
Alkalinitet	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
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

7.2 Förändring av masstransport genom brytning av fyndigheten - gråbergsdeponi

Sammanfattningsvis så har tidigare genomförd modellering av lakvattenkvaliteten för Tapuli gråbergsupplag enligt i tidigare avsnitt beskrivits utförts för en genomsnittligt 75 m hög gråbergsdeponi. Den antagna bottenytan i modelleringen var 100 ha. Baserat på den angivna densiteten i Tabell 6 så

motsvarar detta en gråbergsmängd av 136,5 Mton. Det ansökta tonnaget var 39,5 (M)m³ samt 5,2 (M)m³ vilket med densiteten angiven i Tabell 6 blir 81,4 Mton. Denna skillnad förklaras av att gråbergsupplaget i ett sent skede minskades och det bedömdes då inte vara av vikt att justera halt och massflöde i den processvattenmodell som tagits fram då bidraget från gråbergsdeponin var obetydligt jämfört med andra källtermer.

Slutsatsen är således att tillkommande mängd gråberg från brytning av fyndigheten inte medför att prognosen för haltutveckling av bräddvattnet är underskattad eftersom den nu totalt uppskattade mängden gråberg uppgår till ca 115 Mton (81,4+35) vilket är mindre än den mängd som modelleringen utgår ifrån (136,5 Mton).

7.3 Förändring av masstransport – dagbrottets länshållningsvatten

Koncentrationerna i länshållningsvattnet från Tapuli centrala dagbrott baseras på analysdata från provtagning av länshållningsvatten i provpunkt PRO3 (genomsnittliga halter mellan 2013 och 2019), se Tabell 8 där en jämförelse även utförs mot det senaste driftårets halter (2024–2025).

Tabell 8 Koncentrationer i länshållningsvatten från Tapuli dagbrott (PRO3).

Parameter	Enhet	PRO3 analysdata 2013-2019	PRO3 analysdata 2024-2025
pH		8,10	8,05
Alkalinitet	mmol/l as HCO_3^-	4,0	2,4
Cl	mg/l	6,71	31,8
SO_4^{2-}	mg/l	77,37	254
Al	mg/l	0,005	0,014
As	mg/l	0,0007	0,00086
Ba	mg/l	0,045	
Cd	mg/l	0,00002	<0,00002
Co	mg/l	0,0005	0,0004
Cr	mg/l	0,0003	0,0001
Cu	mg/l	0,0025	0,0007
Fe	mg/l	0,015	0,012
Hg	mg/l	5,5e-5	2e-5
Mo	mg/l	0,007	-
Ni	mg/l	0,003	0,008
Pb	mg/l	0,00012	0,00006
Sr	mg/l	0,120	0,330
Zn	mg/l	0,008	0,0017
U	mg/l	0,010	0,003

Baserat på nu genomförd uppdaterad hydrogeologisk modellering av inflöde genom brytning av Tapuli K nr 4 och den nu gällande utformningen av Tapuli centrala dagbrott samt den avslutade brytningen i Tapuli norra förlängning så bedöms länshållningsvolymen inklusive Tapuli K nr 4 att öka med ca 0,6 (M)m³/år från nuvarande 2,3–2,4 (M)m³/år (Geosyntec 2025). Att det ytterligare länshållningsflödet från

Tapuli K nr 4 är relativt litet beror på att dagbrottet är mindre och dess närhet till Tapuli centrala dagbrott där området redan är delvis avsänkt.

I den processvattenmodelleringsrapport som inlämnades användes ett länshållningsflöde på 3,7 (M)m³/år från Tapuli dagbrott. Brytning av Tapuli K nr 4 kommer således inte att påverka resultatet jämfört med tidigare redovisat, det även med tanke på dagbrottsväggarnas sammansättning som inte bedöms leda till ökade halter. En jämförelse med de använda halterna i processvattenrapporten (medel 2013–2019) och dagens halter visar på mycket marginella förändringar som inte heller är signifikanta för processvattenhalten.

8. Anrikningssand

Anrikningssand uppkommer vid separationen av värdemineralet magnetit. Malmen kan innehålla förhöjda halter av magnetkis och denna magnetkis måste floteras för att inte ingå i magnetitkoncentratet.

I Tapuli K nr 4 är halterna av svavel så låga att flotation av magnetkis inte behöver användas för att få fram ett magnetitkoncentrat som uppfyller marknadens krav.

Genom kartering av borrkärnor har hela Tapulifyndigheten delats in i olika malmtyper. Indelningen utgår från malmtypernas innehåll av olika ämnen, S- och Fe-halt och inte utgående från dess lokalisering i malmkroppen. För produktionen eftersträvas jämna järn- och svavelhalter i ingående rågods till anrikningsverket. Detta säkerställs på sedvanligt sätt genom brytning på flera fronter i dagbrottet samt vid behov genom att blanda olika malmkvaliteter innan anrikning. Utjämning av i ingående rågods till anrikningsverket åstadkoms även vid lagring av olika malmtyper vid kross och i malmlada. I Tabell 9 redovisas de olika identifierade malmtyperna vid Tapuli samt fördelningen av dessa ingående till anrikningsverket enligt den ursprungliga produktionsplanen för Tapuli dagbrott (SRK 2010).

En inledande karakterisering av framtida anrikningssand genomfördes under 2008 för Tapuli. Karakteriseringen baserades på två prover från anrikningsförsök av Tapulimalm i bänkskala där det ena avsåg en grövre fraktion från torr separering och det andra en finare fraktion från våtmagnetisk separering.

Under 2009 genomfördes pilotanrikningsförsök av Tapulimalm i halvindustriell skala där material från de malmprover som tagits ut sedan tidigare användes som ingående rågods utifrån mix och fördelning av malmtyper enligt Tabell 9. Vid försöken sammanblandades uttagna prover från de olika malmtyperna för att representera genomsnittliga malmhalter för fyndigheten motsvarande de som är optimala att upparbeta vid en framtida produktion. Anrikningssanden som uppkom vid pilotanrikningsförsöken användes sedan som provmaterial för en detaljerad geokemisk karakterisering. De förekommande malmtyperna som användes vid pilotanrikningsförsöken är utspridda över i stort sett hela malmkroppen. Erhållna resultat bedöms därför vara mer representativa jämfört med om ett stort antal små malmprover skulle ha testats. Resultat från pilotförsök är alltid mer tillförlitliga än resultat från försök i laboratorieskala.

Huvuddelen av malmen som bryts i Tapuli utgörs av Malmtyp5 (Tabell 9) med något lägre järnhalter och något högre svavelinnehåll (0,1 vikt-%) jämfört med genomsnittet för övriga malmtyper. Det kan i sammanhanget påpekas att svavelinnehållet i Malmtyp5 fortfarande är att betrakta som lågt och i nivå

med det typiska svavelinnehållet i jordskorpan[3]. Det kan också påpekas att produktionsplanen för Tapuli dagbrott har förändrats sedan genomförda anrikningsförsök i bänk och pilotskala. Den ändrade produktionsplanen har bland annat inneburit att en malmtyp som innehåller en högre svavelandel än övriga malmtyper, i dagsläget varken bryts eller planeras brytas, men den ingick i pilotanrikningsförsöket och därmed även i anrikningssanden som karakteriseringen utfördes på. Karakteriseringen av anrikningssand från pilotförsöken avser därmed material med något högre svavelinnehåll än den sand som uppkommit under produktionsförhållanden. Karakteriseringsresultaten, exempelvis vad gäller anrikningssandens bedömning avseende potentiellt syrabildande förmåga, kan därför antas vara något överskattad jämfört med fallande anrikningssand i den faktiska produktionen.

Av Tabell 9 framgår att svavelinnehållet i Tapuli brutna malmtyper ligger mellan 0,03–0,1 % med ett genomsnitt på ca 0,06 %.

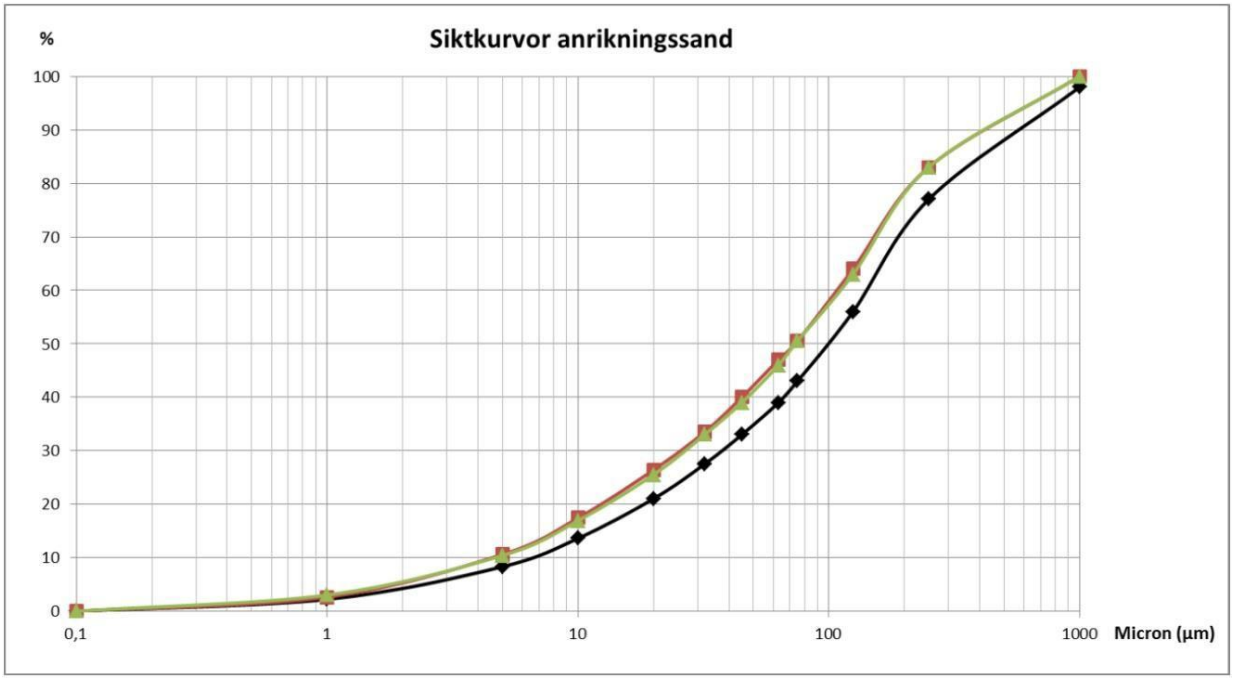
Tabell 9 Förekommande malmtyper vid Tapuli.

	Genomsnittlig sammansättning och andel (%)							
Ämne	Malm-typ1	Malm-typ2	Malm-typ3	Malm-typ4	Malm-typ5	Malm-typ6	Malm-typ7	Totalt
Fe	16,7	24,9	31,4	39,7	16,0	26,0	37,0	25
S	0,053	0,058	0,042	0,03	0,10	0,035	0,034	0,06
Andel	10,1	12,9	13,3	9,2	33,5	11,6	3,8	100

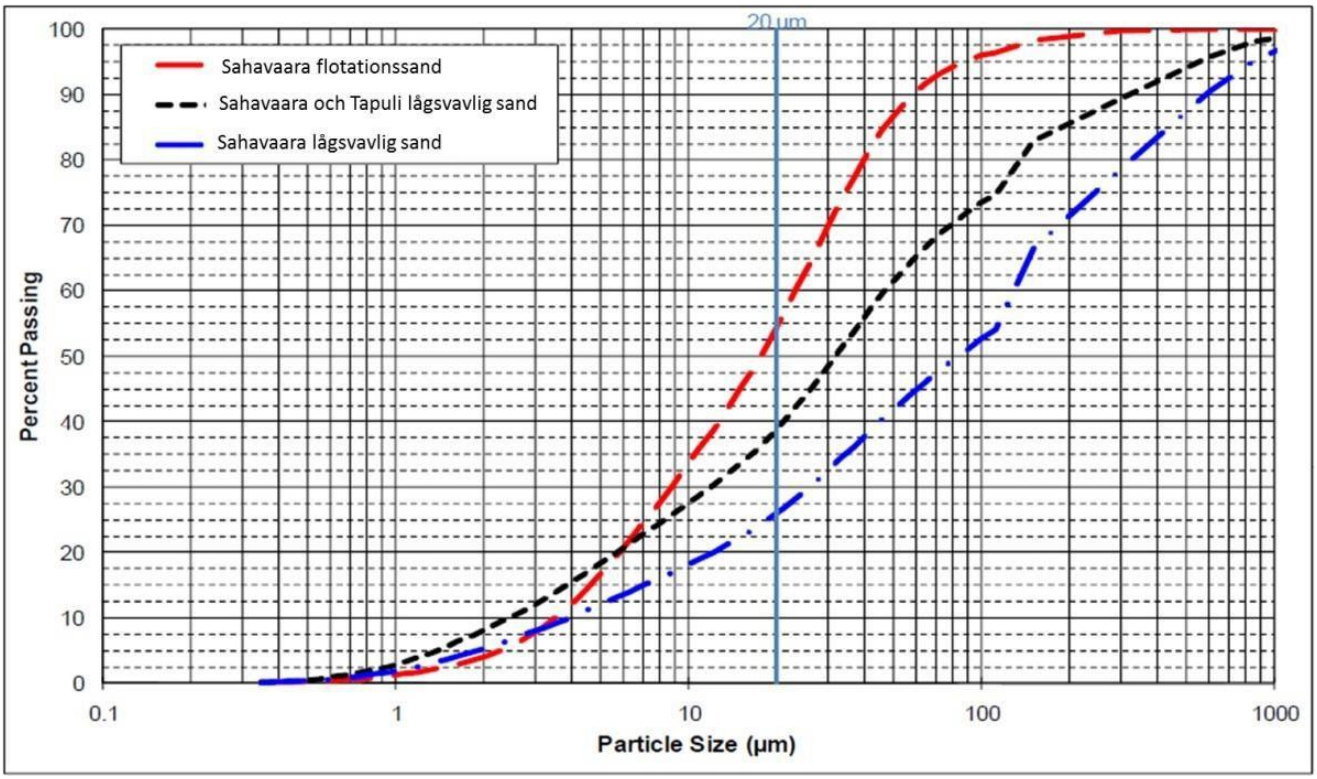
8.1 Anrikningssandens fysikaliska och geotekniska egenskaper

Anrikningssanden, som är den restprodukt som uppstår när magnetiten utvunnits ur den krossade och malda malmen, utgörs av ett finmalt sandliknande material där en stor del (>50 %) av partiklarna är mindre än 100 mikrometer och resterande del mindre än ett par millimeter. Kornstorleksfördelning för fallande anrikningssand från produktion år 2013 (Tapuli) visas i Figur 29.

Flotationssanden, som exemplifieras med flotationsssand från Sahavaara, utgörs av sand-silt liknande material med en större andel finpartiklar <100 mikrometer än anrikningssanden. I Figur 30 redovisas fysikaliska och geotekniska egenskaper från anrikningssand och flotationssand (Sahavaara) från pilotanrikningen. Flotationssand från Tapuli har motsvarande malningsgrad.



Figur 29 Siktkurvor på anrikningssand och flotationssand från pilotanrikning



Figur 30 Siktkurvor på anrikningssand och flotationssand från pilotanrikning.

Geotekniska egenskaper för anrikningssand från Tapuli, huvudsakligen från produktion, redovisas i Tabell 10.

Tabell 10 Sammanställning av geotekniska egenskaper för Tapuli anrikningssand.

Parameter	Storlek	Kommentar
Bulkdensitet, vid deponering	1,5–1,6 kg/L	Faktisk produktion
Bulkdensitet, konsoliderat	2–2,2 kg/L	Faktisk produktion
Fastgodshalt, vid deponering	50–60 vikt-%	Faktisk produktion
Fastgodshalt, konsoliderat	>75 vikt-%	Faktisk produktion
Porositet	30-40 %	Faktisk produktion
Specifik densitet	3,0 ton/m^3	Faktisk produktion
Skjuvhållfasthet	5–30 Pa	Faktisk produktion
Friktionsvinkel	25 grader	Labtest pilotdata
Kohesion	21 kPa	Labtest pilotdata
Hydraulisk konduktivitet, mättad	$3*10^{-6}$-$5*10^{-6}$ m/s	Labtest pilotdata
	$1*10^{-7}$ m/s	Faktisk produktion
Porositet	32 %	Labtest

8.2 Mineralogi

Mineralogisk undersökning av förekommande mineralgrupper i anrikningssand har utförts genom QEMScan- och XRD på anrikningssand från pilotanrikningsförsök år 2009.

I Tabell 11 redovisas resultaten från QEMScan- och XRD-undersökningar av anrikningssanden som domineras av silikater och att magnetit, lermineral och karbonater förkommer mer sparsamt. Karbonater utgörs främst av dolomit. Sulfidmineralen svavelkis (pyrit) och magnetkis påvisades i låga halter.

Tabell 11 Sammanställning av den mineralogiska undersökningen på anrikningssand från pilotanrikningsförsök 2009.

	Dominerande (>30 %)	Vanlig (10–30 %)	Sparsam (2–10 %)	Påvisbar (<2 %)
Anrikningssand, Pilotanrikningsförsök 2009		Pyroxen, amfibol, serpentin	Klorit, dolomit, magnetit, glimmer, kalcit, plagioklas, kaolin, talk	*Jarosit, *pyrit, *kvarts, *magnetkis

* Preliminär identifiering pga. Låga halter eller ofullständig kristallstruktur

8.3 Fullanalys

Fullanalys av spårämnen/metaller genom syralakning med efterföljande ICP-OES/MS har utförts på anrikningssand från bänkskaleförsök 2008 samt anrikningssand från pilotanrikningsförsök år 2009. Fullanalyser har även genomförts på fallande anrikningssand från faktisk produktion år 2013 och 2014.

Resultaten från fullanalyser genomförda år 2008 och år 2009 redovisas i Tabell 12.

Resultaten från fullanalyser av anrikningssanden från anrikning i bänk och pilotskala visar att halterna av särskilt utpekade ämnen i anrikningssanden endast i liten utsträckning avviker från halterna i svensk morän (SGU 2014).

Tabell 12 Sammanställning av halter från provanrikning 2008 och 2009.

Parameter	Enhet	Grovfraktion, torr separering - 2008	Finfraktion, våtmagnetisk separering - 2008	Pilotanrikningsförsök 2009	Medel svensk morän (SGU 2014)
Hg	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	
Al	mg/kg	7 600	6 300	2 500	
As	mg/kg	<2	<2	2,6	4,4
B	mg/kg	19	16	29	
Ba	mg/kg	67	60	140	199
Ca	mg/kg	71 000	18 000	68 000	
Cd	mg/kg	0,07	0,08	0,5	0,09
Co	mg/kg	50	69	58	7,6
Cr	mg/kg	74	33	57	24,3
Cu	mg/kg	33	33	100	18,3
Fe	mg/kg	71 000	260 000	84 000	
K	mg/kg	6600	4 900	5300	
Mg	mg/kg	140 000	120 000	100 000	
Mn	mg/kg	920	810	610	
Mo	mg/kg	0,33	1,2	2,2	0,8

Parameter	Enhet	Grovfraktion, torr separering - 2008	Finfraktion, våtmagnetisk separering - 2008	Pilotanrikningsförsök 2009	Medel svensk morän (SGU 2014)
Na	mg/kg	2 400	290	2 300	
Ni	mg/kg	68	99	73	15,4
Pb	mg/kg	1,4	5,7	12	11,8
Sb	mg/kg	0,1	0,1	0,8	0,2
Se	mg/kg	-	-	0,7	
Si	Vikt-%	-	-	16,1	
Sn	mg/kg	-	-	1	
Ti	mg/kg	930	900	1 300	
V	mg/kg	-	-	56	37,7
Zn	mg/kg	13	37	42	43,3

I Tabell 13 och Tabell 14 redovisas en jämförelse mellan fullanalysresultaten av anrikningssand från pilotanrikningsförsöket 2009 och resultaten från fullanalys av fallande anrikningssand år 2013 respektive 2014. Resultaten från fullanalyser på fallande anrikningssand 2013–2014 visar på en god överensstämmelse med resultaten från fullanalys av sand från pilotanrikningen vilket bekräftar att den malm som använts vid pilotanrikningen väl representerar den malm som bearbetas i produktionen.

Tabell 13 Jämförelse mellan resultat vid pilotanrikning 2009 och fallande anrikningssand från produktion 2013.

Parameter	Enhet	Pilot-anrikning 2009	Fallande anrikningssand från produktion 2013										
			Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Hg	mg/kg	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ag	mg/kg	0,18	0,08	0,3	0,07	<0,01	<0,01	0,06	0,06	0,04	0,12	0,09	<0,01
Al	mg/kg	2500	15 000	11 000	8500	5900	6400	13 000	6700	5900	12 000	13 000	14 000
As	mg/kg	2,6	0,7	1,1	1,7	<0,5	0,8	0,8	1	0,8	0,7	1	<0,5
Ba	mg/kg	140	280	110	150	130	43	64	86	41	58	47	36
Be	mg/kg	0,47	0,69	0,54	0,66	0,64	0,3	0,35	0,32	0,12	0,29	0,39	0,67
Bi	mg/kg	0,045	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,69	<0,09	<0,09	<0,09	0,88	<0,09	<0,09
Ca	mg/kg	68 000	65 000	100 000	120 000	100 000	71 000	76 000	75 000	60 000	97 000	93 000	97 000
Cd	mg/kg	0,5	0,06	0,07	0,06	0,31	<0,02	0,1	<0,02	<0,02	0,07	0,05	0,06
Co	mg/kg	58	27	31	25	28	39	33	40	46	32	30	29
Cr	mg/kg	57	31	41	45	52	14	33	24	18	21	16	29
Cu	mg/kg	100	17	12	16	17	22	20	33	22	32	41	14
Fe	mg/kg	84 000	37 000	39 000	39 000	38 000	36 000	37 000	46 000	39 000	42 000	38 000	36 000
K	mg/kg	5300	13000	5200	6500	4700	3200	3100	3400	2200	4100	3300	3500
Li	mg/kg	5	5	5	5	5	3	5	4	2	5	4	5
Mg	mg/kg	100 000	82 000	94 000	87 000	86 000	130 000	120 000	140 000	140 000	120 000	100 000	110 000
Mn	mg/kg	610	630	640	680	740	740	750	950	1100	970	830	540
Mo	mg/kg	2,2	0,5	0,5	0,3	0,1	1	0,4	1,2	1,2	0,6	0,5	0,5
Na	mg/kg	2300	9900	5400	7100	4900	2300	2900	2700	900	2100	3300	2600
Ni	mg/kg	73	60	60	49	53	69	50	59	66	51	55	45
P	mg/kg		740	930	750	870	570	600	950	880	650	770	620
Pb	mg/kg	12	2,6	8,9	5,2	11	2,4	5,6	3,7	0,74	7,6	2	4
Sb	mg/kg	0,4	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Se	mg/kg	0,35	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	3	2,3	1,4
Sn	mg/kg	1	<0,5	5,1	0,5	0,6	9,1	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Projektnummer: SE2500775
Projektidentitet: Kaunis Iron Tapuli K NO 3

Parameter	Enhet	Pilot-anrikning 2009	Fallande anrikningssand från produktion 2013										
			Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Sr	mg/kg		99	69	75	83	37	48	70	57	64	62	28
Ti	mg/kg	1300	1900	1700	1700	1500	800	1000	910	770	1100	920	1000
Tl	mg/kg		0,14	0,06	0,08	0,05	0,13	0,08	0,11	0,06	0,08	0,08	0,06
U	mg/kg		2,6	2	1,4	1,6	5,1	3	3,4	3,7	3,1	2,7	1,5
V	mg/kg	56	44	40	45	47	24	28	30	15	25	25	32
Y	mg/kg		7,3	7,1	7,3	7,8	3,9	5	5	2,9	5,1	5,3	5,5
Zn	mg/kg	42	19	29	24	34	30	23	23	11	26	14	22

Tabell 14 Jämförelse mellan resultat vid pilotanrikning 2009 och fallande anrikningssand från produktion 2014.

Parameter	Enhet	Pilotanrikning 2009	Fallande anrikningssand från produktion 2014						
			Jan	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Sep
Hg	mg/kg	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ag	mg/kg	0,18	0,03	0,03	0,11	0,04	0,04	0,04	0,09
Al	mg/kg	2500	1400	1 700	2 400	14 000	9200	4800	7400
As	mg/kg	2,6	0,9	1	0,9	0,9	0,9	1	1,1
Ba	mg/kg	140	60	52	51	60	66	57	120
Be	mg/kg	0,47	0,31	0,44	0,39	0,34	0,49	0,32	0,48
Bi	mg/kg	0,045	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Ca	mg/kg	68 000	70 000	100 000	77 000	100 000	87 000	110 000	58 000
Cd	mg/kg	0,5	0,04	0,07	0,03	0,1	< 0.02	0,05	0,1
Co	mg/kg	58	44	34	40	35	35	35	51
Cr	mg/kg	57	24	48	22	21	32	22	44
Cu	mg/kg	100	18	15	20	72	22	19	60
Fe	mg/kg	84 000	42 000	42 000	40 000	44 000	37 000	39 000	48 000
K	mg/kg	5300	4800	4000	4 000	3300	6600	4200	8800
Li	mg/kg	5	4	5	4	4	6	4	8
Mg	mg/kg	100 000	130 000	100 000	140 000	120 000	110 000	120 000	130 000
Mn	mg/kg	610	740	600	680	970	630	860	750
Mo	mg/kg	2,2	1,7	0,5	1,1	0,5	0,4	0,3	1,1
Na	mg/kg	2300	2400	3800	2100	3300	3300	2100	7400
Ni	mg/kg	73	63	54	69	56	66	61	64
P	mg/kg		770	810	830	930	770	800	1200
Pb	mg/kg	12	1,5	6,2	3	11	3,2	2,5	5,3
Sb	mg/kg	0,4	<0,8	<0,08	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Se	mg/kg	0,35	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7

Fallande anrikningssand från produktion 2014									
Parameter	Enhet	Pilotanrikning 2009	Jan	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Sep
Sn	mg/kg	1	<0,5	<0,5	1,5	<0,5	0,8	<0,5	0,9
Sr	mg/kg		39	41	37	69	50	56	71
Ti	mg/kg	1300	1100	1500	1100	1100	1300	900	2200
Tl	mg/kg		0,08	0,05	0,09	0,1	0,07	0,07	0,14
U	mg/kg		2,5	3,7	3,5	3,2	1,8	1,8	2,9
V	mg/kg	56	31	41	34	32	42	34	49
Y	mg/kg		4,4	6,3	4,6	7,4	6,1	7,1	6,3
Zn	mg/kg	42	21	24	22	34	20	16	26

8.4 ABA

Undersökning av anrikningssandens syrabildande potential har genomförts genom modifierade ABA test och NAG test. Testerna har utförts på anrikningssand från bänkskale och pilotanrikning år 2008 och 2009 samt på fallande anrikningssand vid den faktiska produktionen år 2013 och 2014.

Eftersom NAG test inte har någon inverkan på klassificering av anrikningssanden så utelämnas de resultaten även för anrikningssand. NAG-testerna stödde resultatet från ABA-testerna.

Resultaten från genomförda ABA-test visas i Tabell 15 nedan. Eftersom malmen i Tapuli K nr 4 är svavelfattig (se tidigare beskrivning avseende mineraliseringen) så kommer inte flotation att behöva nyttjas varför resultat från flotationssand inte beskrivs vidare.

Genomförda ABA-tester på anrikningssand från bänk- och pilotanrikning visar på lågt totalsvavelinnehåll i anrikningssanden, ca 0,09–0,35 vikt-%, och att svavlet i anrikningssanden från Tapuli huvudsakligen föreligger i sulfidform. Samtliga genomförda ABA-tester visar att anrikningssanden från bänk- och pilotanrikning har kraftigt buffrande egenskaper (ett överskott på 129–258 ton kalcit per 1 000 ton anrikningssand).

Resultatet från ABA-test visar på en NP/AP-kvot på mellan 14–287. För en riktigt konservativ bedömning av anrikningssandens neutraliseringspotential kan den beräknas på karbonathalten (CO_3 NP). Kvoten CO_3 NP/AP uppgick till mellan 7,8–51,7.

Resultatet från ABA-tester på fallande anrikningssand visar på lägre svavelinnehåll, mellan 0,05–0,1 vikt-%, jämfört med svavelinnehållet i sand från bänkskale- och pilotanrikning. En bidragande orsak till denna skillnad i svavelinnehåll är att pilotförsöket, som tidigare angivits, inkluderade en sulfidhaltig malmtyp (Malmtyp8) som inte ingått i den faktiska brytningsplanen.

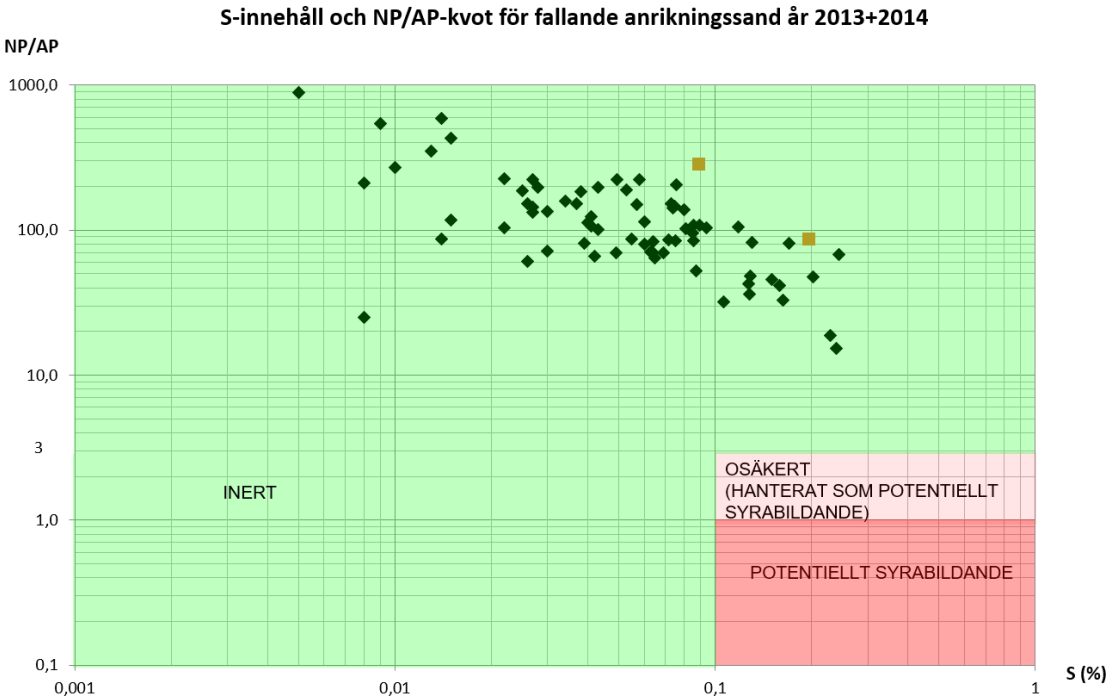
En annan noterbar skillnad är att neutraliseringspotentialen är betydligt högre i proverna på fallande anrikningssand jämfört med neutraliseringspotentialen i sand från bänkskale- och pilotanrikning. Detta bedöms bero på en större förekomst av dolomitmarmor i den malmnära zonen än vad som hade modellerats. Ett lägre svavelinnehåll och en högre neutraliseringspotential i anrikningssanden ger en NP/AP-kvot för fallande anrikningssand som varierar mellan 105–173.

Under 2018 var den genomsnittliga svavelhalten i den anrikningssand som deponerades 0,063 vikt-% med en järnhalt på 7,6 vikt %.

Tabell 15 Redovisning av resultat från ABA-test på anrikningssand från bänkskaleförsök 2008 och pilotanrikning 2009 liksom från produktion under 2013 och 2014.

Parameter	Enhet	Bänkskaleförsök 2008		Pilotanrikning 2009	Produktion (medelvärden för samtliga prover)	
		Grovfraktion, torrseparering	Finfraktion, våtmagnetisk separering		2013	2014
Pasta pH	kg CaCO3/ton	8,93	8,98	9,3	ca 9	-
NP	kg CaCO3/ton	261	252	139	185	203
AP	kg CaCO3/ton	3,01	0,88	10,2	2,7	2,1
NNP	kg CaCO3/ton	258	251	129	183	200
NP/AP	-	86,5	287	13,6	173	105
S	%	0,196	0,089	0,35	0,05	0,09
Sulfid-S	%	0,10	0,03	0,33	-	
SO4-S	%	0,10	0,06	0	-	
C	%	2,41	0,80	1,2	1,9	-
CO3 NP	kg CaCO3/ton	153	41,3	80	155	-
CO3 NNP	kg CaCO3/ton	153	41,3	70	153	-
CO3 NP/AP	-	51,7	47,9	7,8	111	-

Det genomsnittliga svavelinnehållet ligger på 0,07 vikt % (0,05 vikt % under 2013 och 0,09 vikt % för 2014), AP på 2,1 (1,6 under 2013 och 2,7 för 2014) samt NP på 193 (203 under 2013 och 185 för 2014) vilket ger en genomsnittlig NP/AP kvot på 142 samt 173 (2013) och 105 (2014)).



Figur 31 Redovisning av resultat från fallande anrikningssand med NPR (NP/AP) på y-axel och svavelhalt på x-axel.

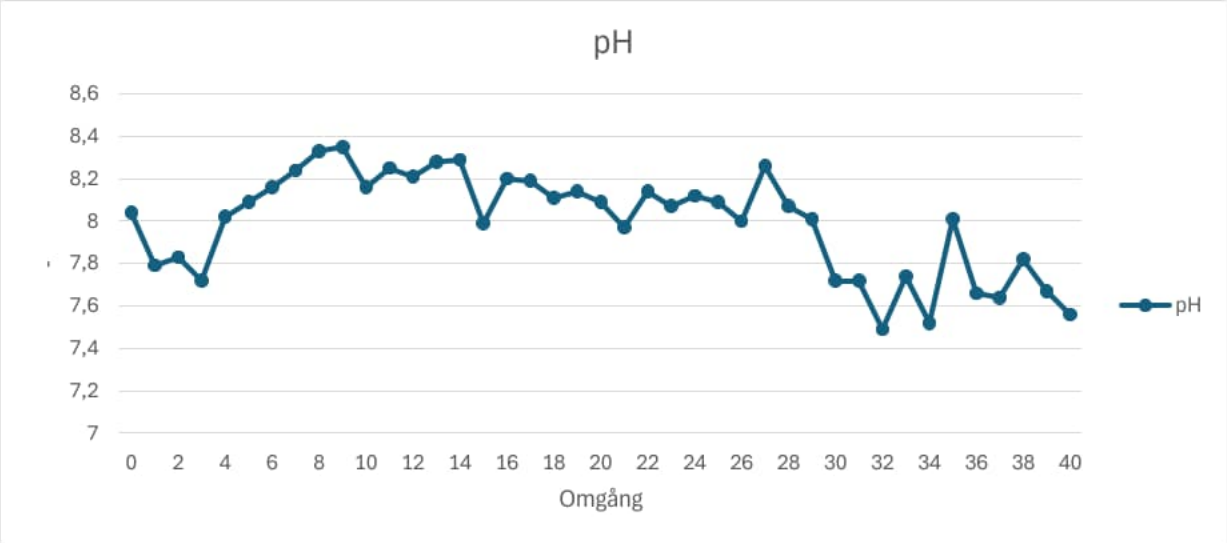
8.5 Fuktkammarförsök

Fuktkammarförsök på anrikningssand från pilotanrikningsförsök år 2009 initierades år 2010 och pågick under sammanlagt 40 veckor. Resultaten från fuktkammarförsök på anrikningssand sammanfattas i Figur 32 Redovisning av pH-utveckling i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.

Resultatet visade att pH är neutralt och stabiliserar sig omkring 7,6 under slutet av försöket samtidigt som alkaliniteten är mellan 40–60 mg/L som $CaCO_3$ under de första två tredjedelarna av försöket för att avsluta omkring 20 mg/L. Sulfathalten sjunker snabbt från den initiala halten ned till ca 10–15 mg/L för att avsluta omkring 5 mg/L. Den förhöjda halten i de första omgångarna förklaras av oxidation och upplösningsreaktioner under krossning, malning och anrikning. Det kvarstannar sedan i anrikningssanden som porvatten. Då det sköljts ut är halterna låga och minskande under återstoden av försöket.

En beräkning av förbrukningstiden för sulfider och karbonater visade att det tar ca 20 år för sulfiderna att förbrukas medan det förväntas ta 50–100 år för karbonaterna att förbrukas. Anrikningssandens buffrande egenskaper från ABA-testet verifierades därför i fuktkammarförsöket.

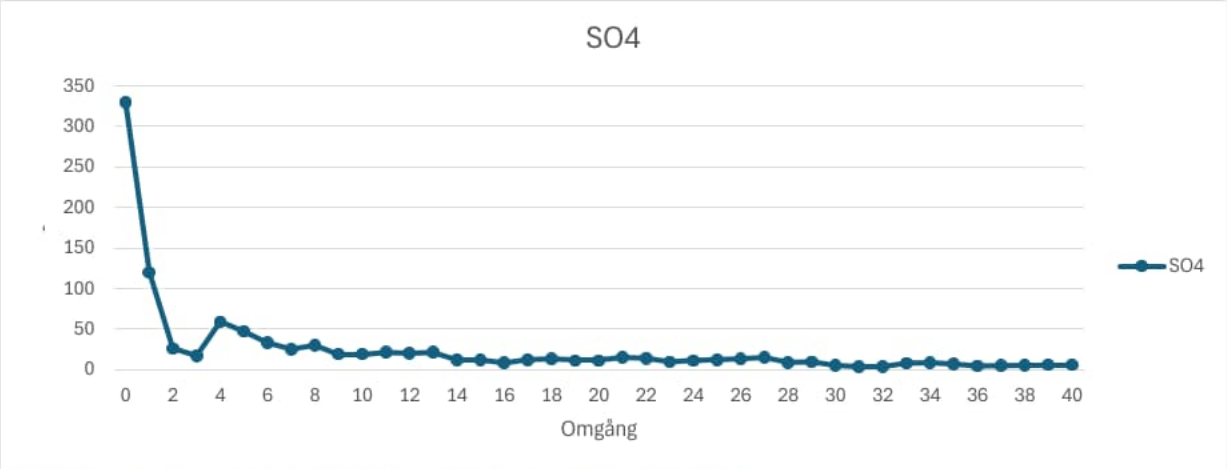
De särskilt omnämnda ämnena i SFS 2013:319 uppvisar låga halter, för flertalet katjoner omkring eller under rapporteringsgränsen. Arsenik, molybden och vanadin som bildar oxyanjoner och som har högst löslighet omkring neutrala pH värden uppvisar analysresultat i alla omgångar som bedöms som låga.



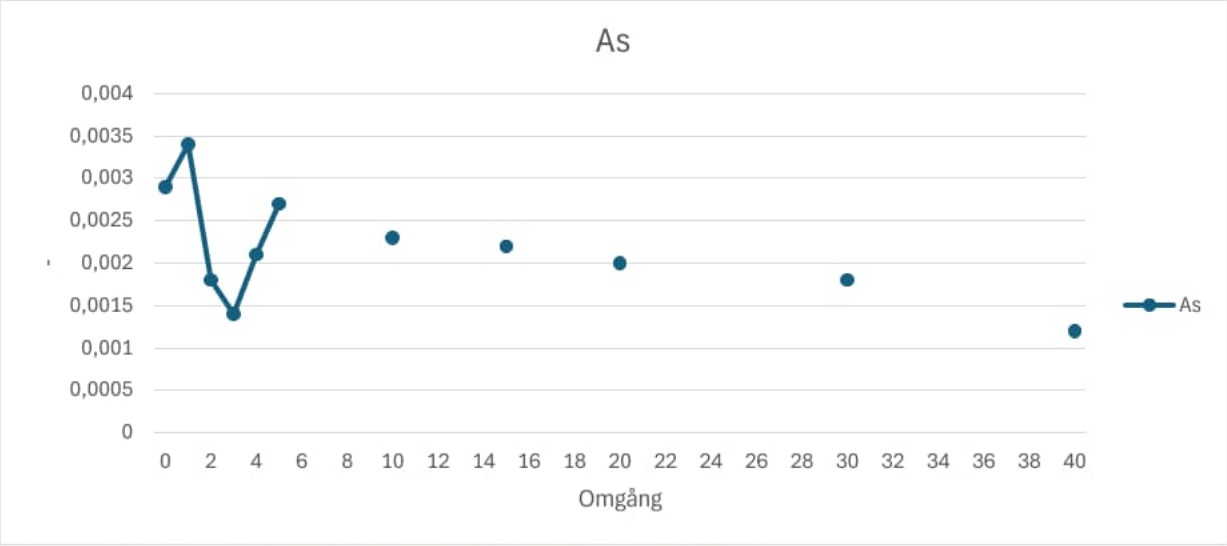
Figur 32 Redovisning av pH-utveckling i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli



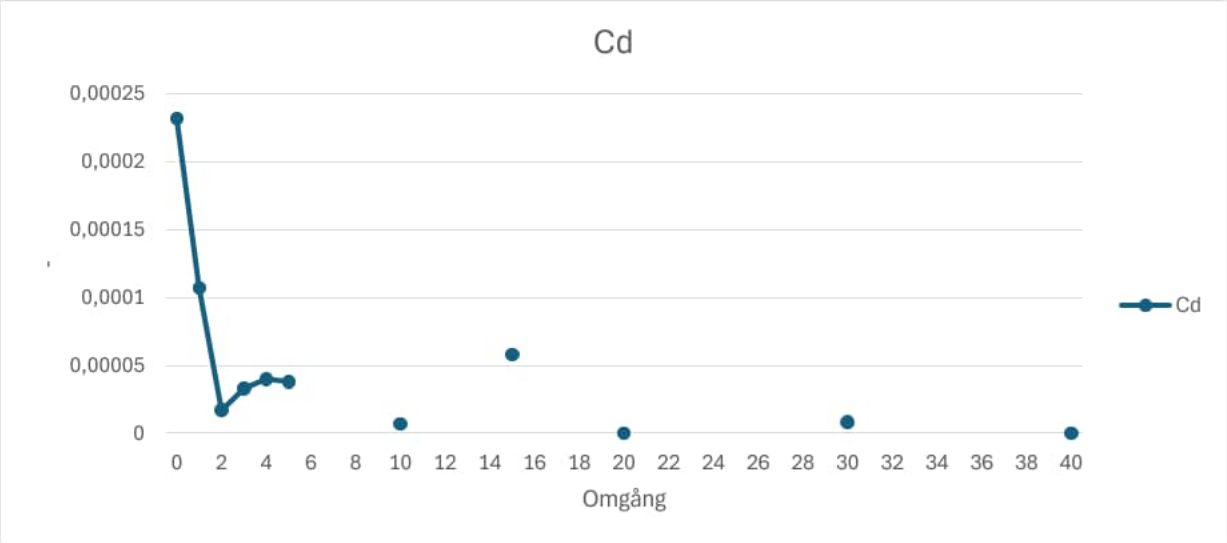
Figur 33 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



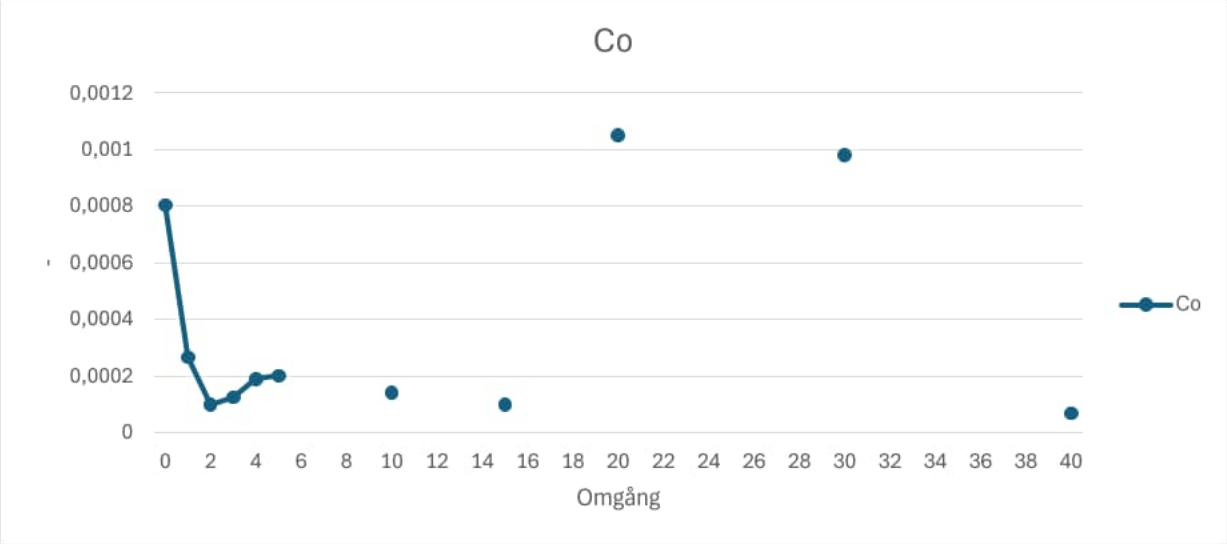
Figur 34 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



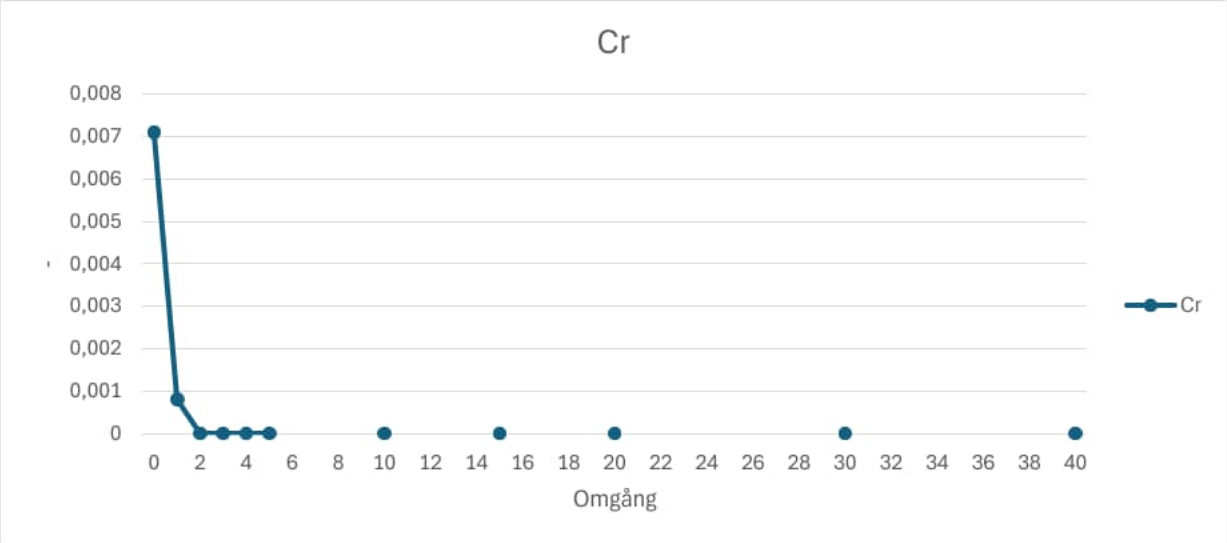
Figur 35 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



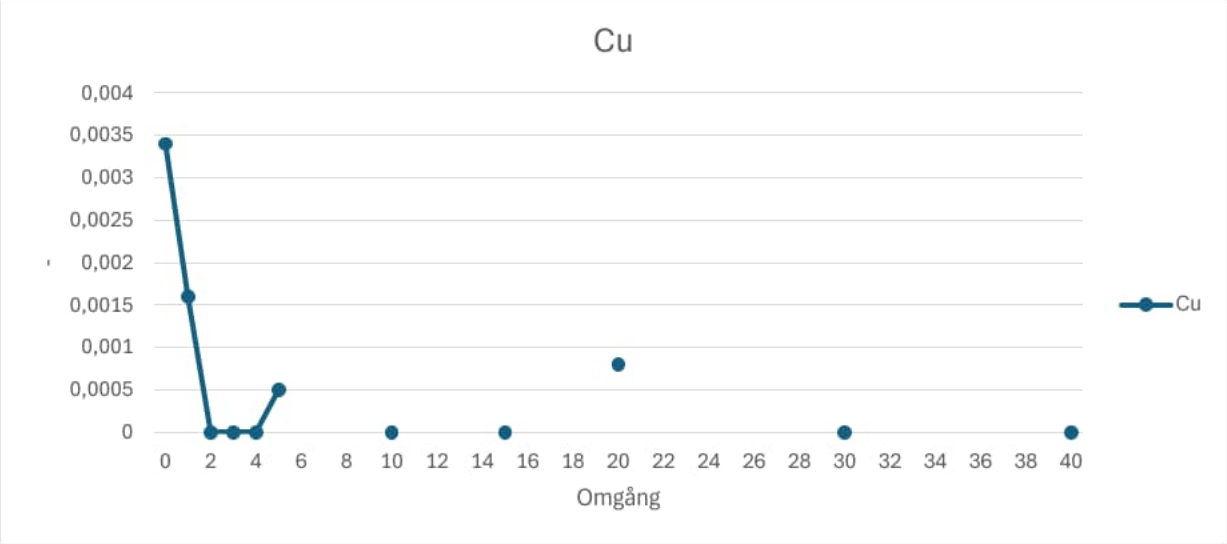
Figur 36 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli



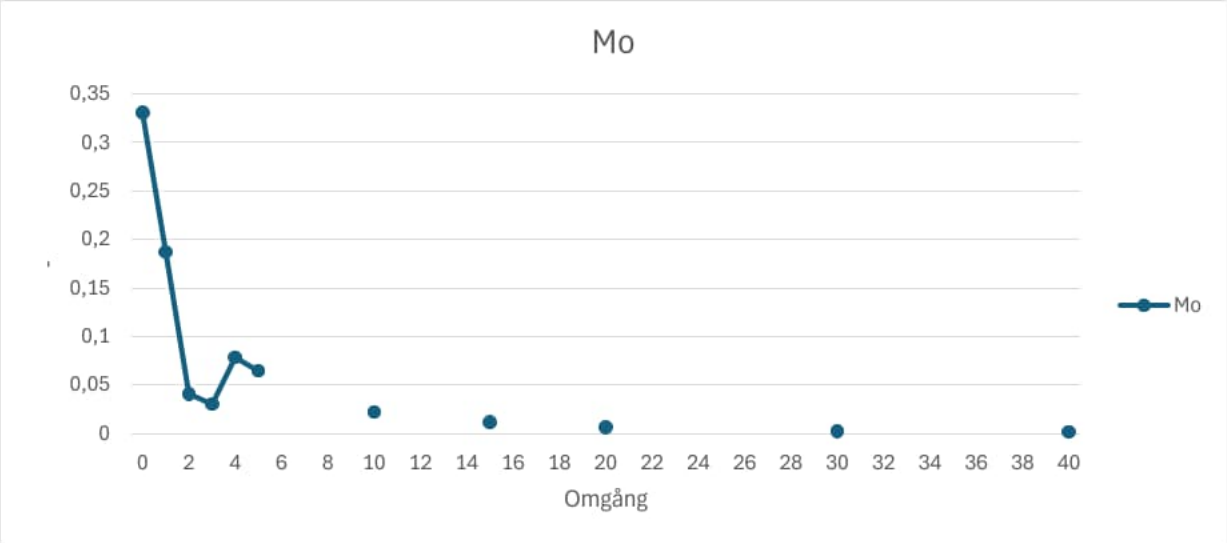
Figur 37 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



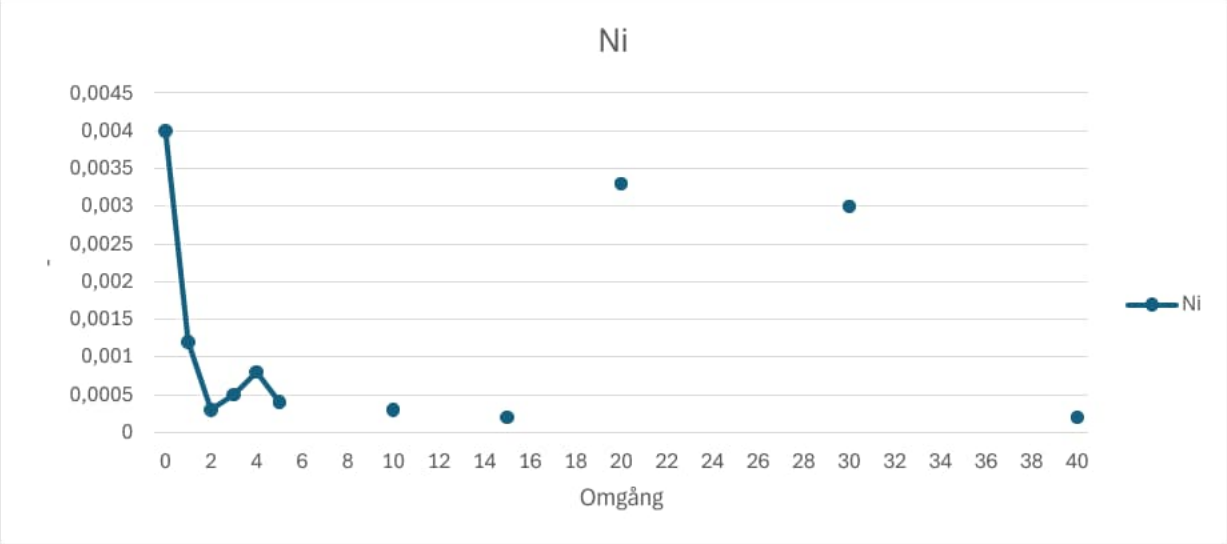
Figur 38 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli



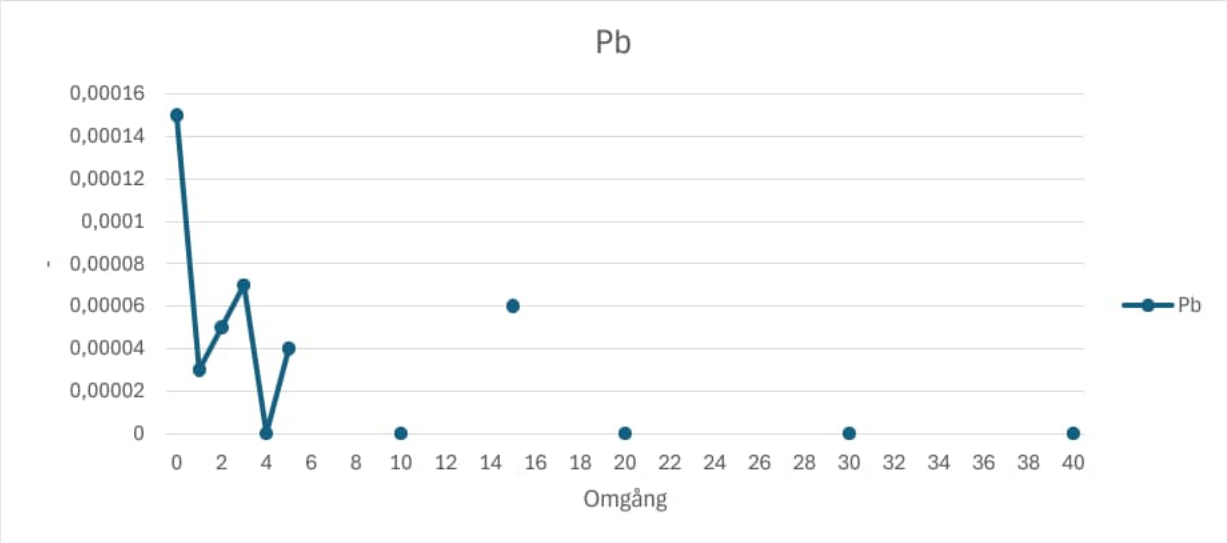
Figur 39 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



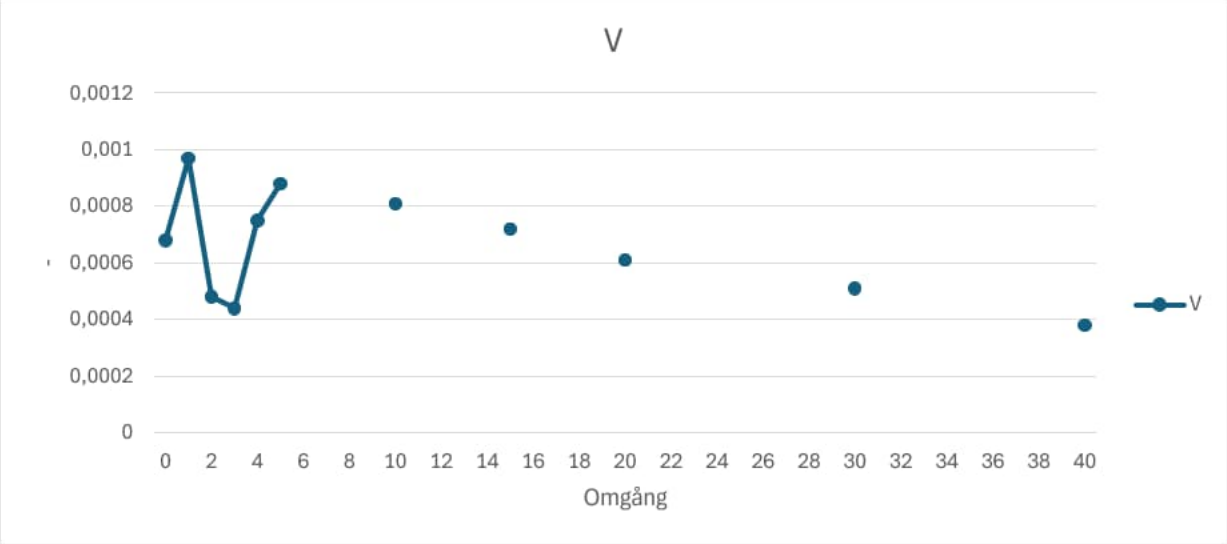
Figur 40 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli



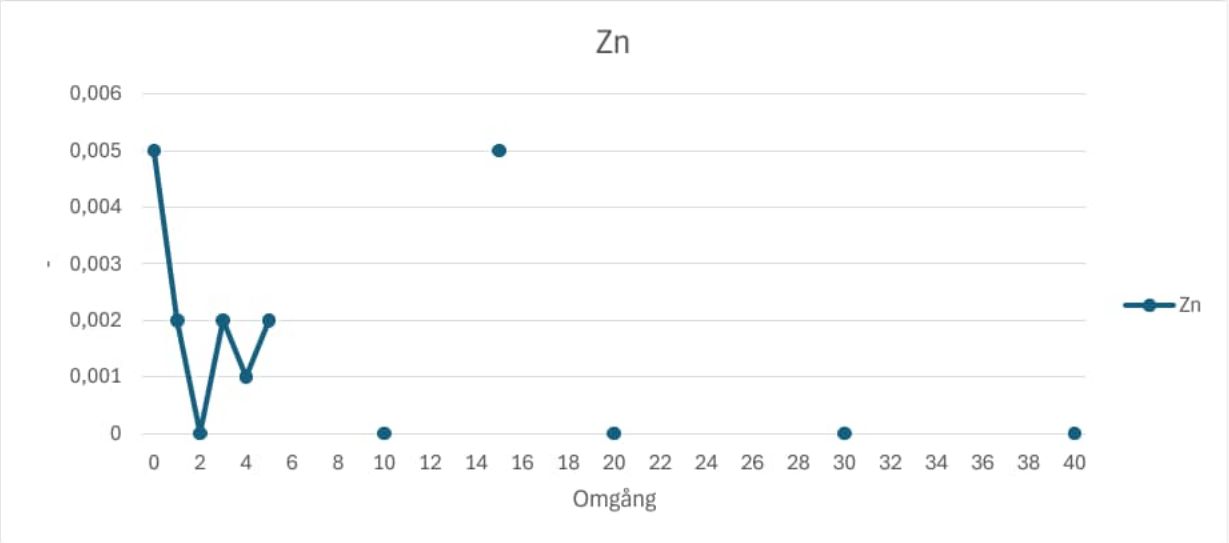
Figur 41 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



Figur 42 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli



Figur 43 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli.



Figur 44 Redovisning av alkalinitet i fuktkammarförsök på anrikningssand, Tapuli

8.6 Utvärdering av halter i malm/anrikningssand – Tapuli K nr 4

Malm definieras som analyser med >15 vikt % Fe. Genom att välja ut dessa analyser från prospekteringsborrningarna samt normalisera järnhalten till sidobergets järnhalt (ca 5,5 vikt % i gråberget från Tapuli K nr 4) så kan en teoretisk sammansättning på anrikningssand från Tapuli K nr 4 uppskattas vid ett utbyte på 100 % och att inget svavel eller andra ämnen går till magnetikoncentrat. Detta är ett konservativt antagande. Detta är givetvis inte exakt korrekt men bedöms vara en godtagbar approximation för en prognos. Den teoretiska halten i anrikningssand kan därefter jämföras med den genomsnittliga järnhalten från produktionsanalyserna 2013–2014.

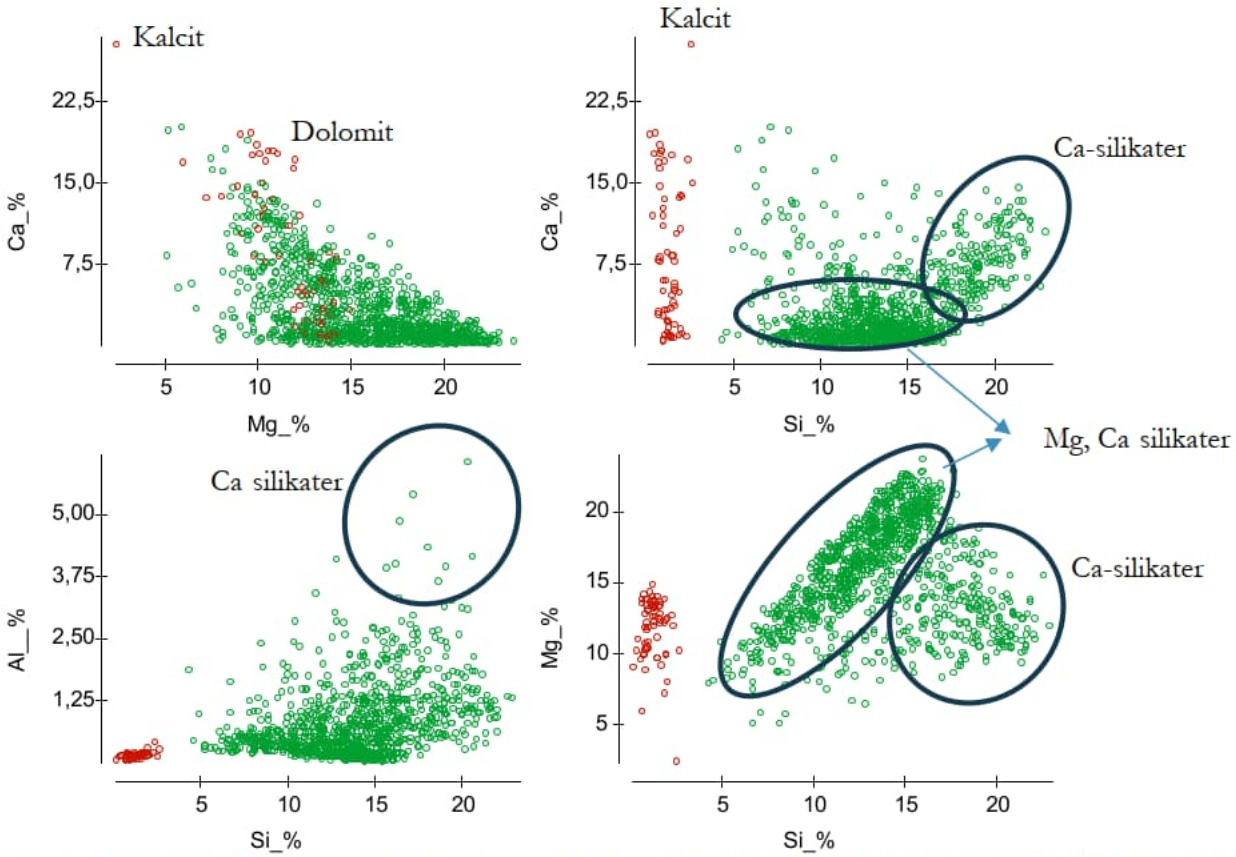
Baserat på sammansättning av huvudelement analyserad i anrikningssand från produktionsbrytning 2013–2014 samt den teoretiskt beräknade sammansättningen i anrikningssand som ovan beskrivits så kan det fastställas att silikatandelen totalt sett minskar något jämfört med tidigare (Si-Al-K) (Tabell 16). Eftersom kaliumhalten är mer eller mindre konstant så innebär detta teoretiskt att silikatmineral innehållande kalium ökar något i andel om än marginellt. Den totala mängden av karbonatmineral kan grovt skattas genom att summan av Ca+Mg jämförs mellan produktion och teoretiskt beräknat för Tapuli K nr 4. Resultatet visar att skillnaden är marginell, en andel av kalcium och magnesium bedöms även ingå i anrikningssandens silikater varför den tidigare bedömningen av att den buffrande förmågan är högre i gråberget mycket väl även kan gälla även för anrikningssand från Tapuli K nr 4. Svavelhalten är i paritet med den tidigare analyserade i anrikningssand, ca 0,1 vikt % vilket är gränsvärdet för en klassificering som inert med avseende på syrabildande egenskaper (SFS 2013:319 6§) oavsett NPR-värde. Jämfört med produktionsdata 2022–2025 så kommer svavelhalten att halveras, silikatandelen (Si-Al-K) minskar också varför andelen marmor/dolomit/kalcit för ämnena Ca + Mg bör öka i anrikningssanden.

Anrikningssanden är således fortfarande mycket lågsvavlig och även med en minskande svavelhalt vid brytning av Tapuli K nr 4 jämfört med idag med en stor andel karbonater och någon förändring av ämnen särskilt utpekade i utvinningsavfallsförordningen kan inte förväntas utan dessa kommer fortsatt att vara låga.

Tabell 16 Sammanställning av halt i anrikningssand från produktion med teoretiskt beräknad medelhalt för Tapuli K nr 4.

Parameter	Enhet	Medel 2013–2014	Medel 2022–2025 (3996 analyser)	Teoretiskt beräknad halt i anrikningssand - Tapuli K nr 4 (1172 analyser)
Al	mg/kg	8 147	13 907	7 277
Ca	mg/kg	85 474	67 080	34 997
K	mg/kg	4 905	6 134	5 433
Mg	mg/kg	113 632	158 397	155 640
Mn	mg/kg	758	751	2 082
P	mg/kg	802	653	604
S	mg/kg	500/900 (2013/2014)	2 038	1 008
Si	mg/kg	161 000 (Pilotanrikningsförsök 2009)	154 643	131 374

Förhållandet mellan kalcium och magnesium i den teoretiskt framtagna halten i anrikningssand genom att normalisera järnhalten till 5,5 vikt-% visar att det har ett liknande utseende som för Tapuli gråberg, både från Tapuli centrala dagbrott och norra dagbrott samt fyndigheten. Förhållandet mellan kalcium och kisel, aluminium och kisel samt magnesium och kisel anger olika delområden för de huvudsakliga mineralen i anrikningssanden.



Figur 45 Förhållandet mellan kalcium och magnesium samt kalcium och kisel, teoretiskt beräknat för framtida anrikningssand från Tapuli K nr 4. Röda punkter anger karbonater inringade delområden anger olika silikatmineral.

8.7 Bedömning av påverkan på lakvattenhalt från sandmagasin

Baserat på den genomgång som utförts beträffande anrikningssandens huvudsakliga sammansättning så finns ingenting som tyder på att de tidigare antagna halterna i lakvattnet från sandmagasinets anrikningssand i den tidigare utförda modelleringen inlämnad i mål 2090–19 skulle behöva justeras (Tabell 17). Inte heller bedöms ytarean som sandmagasinet tar i anspråk ha underskattats. Slutsatsen är således att även inkluderat brytning av Tapuli K nr 4 så är inte massbelastning från sandmagasinet i behov av uppdatering.

Tabell 17 Sammanställning av antagen lakvattenkvalitet från sandmagasinets anrikningssand vid utförd modellering.

Parameter	Enhet	Halt i lakvatten
pH	S.U.	7,59
Alkalinitet	mg/l	2,08
Al	mg/l	0,010
As	mg/l	2,66e-04
Ba	mg/l	4,33e-02
Ca	mg/l	34,63
Cd	mg/l	1,36e-05

Parameter	Enhet	Halt i lakvatten
Cl	mg/l	29,17
Co	mg/l	2,47e-04
Cr	mg/l	1,40e-04
Cu	mg/l	2,04e-03
F	mg/l	n/a
Fe	mg/l	377,63
H	mol/L	2,54e-08
Hg	mg/l	n/a
Mg	mg/l	25,36
Mn	mg/l	0,068
Mo	mg/l	0,007
Ni	mg/l	1,26e-03
Pb	mg/l	2,26e-04
Sb	mg/l	n/a
SO_4	mg/l	84,24
Sr	mg/l	0,0992
U	mg/l	0,0042
Zn	mg/l	0,0024

9. Sammanfattning av karakterisering och bedömning av Tapuli K nr 4

9.1 Gråberg

Slutsatsen av den genomförda karakteriseringen av Tapuli K nr 4 och jämförelse med tidigare underlag för Tapuli K nr 1 är att ingen förändring avseende masstransport från gråbergsdeponi eller sandmagasin bedöms ske som föranleder tidigare presenterade underlag (Processvattensammansättning, bilaga A2.E i mål 2090–19), över vattenkvalitet som bräddas till recipient att behöva uppdateras se Bilaga 1. Den mängd gråberg som antogs vid beräkningarna överstiger den nu totalt planerade mängden samtidigt som halterna kommer att minska av de ämnen som är av intresse från redan låga nivåer.

Gråberget bedöms innehålla större mängd karbonater än det i Tapuli K nr 1 samtidigt som svavelhalten minskar till ca 0,15 vikt-%. Den buffrande förmågan ökar därmed relativt vad som tidigare har brutits samtidigt som minskningen i sulfidsvavelhalt kommer att ha en motsvarande effekt på de ämnen som är bundna i sulfider. Halterna av flertalet av de i utvinningsförordningen (SFS 2013:319) särskilt utpekade ämnena kommer således att sjunka. På grund av detta bedöms gråberget från Tapuli K nr 4 ha en ännu lägre utlakningstakt än det i fuktkammarförsök undersökta gråberget från Tapuli.

9.2 Anrikningssand

Avseende anrikningssandens sammansättning så har en normalisering av järnhalten för 1 182 delprov på malm (>15 vikt % Fe) utförts. Normaliseringen visar att anrikningssandens sammansättning (anrikningssand efter magnetseparation) inte nämnvärt kommer att förändras. Svavelhalten bedöms bli ca 0,1 vikt % och den buffrande förmågan motsvarar den i nuvarande anrikningssand. Någon risk för uppkomst av surt lakvatten föreligger således inte.

Utvärdering av huvudelementen visar att anrikningssanden fortsatt domineras av silikater, dels Ca/Mg-silikater som pyroxen och amfibol, dels serpentin (Mg-silikat). Någon förändring avseende anrikningssandens sammansättning gentemot redan deponerad anrikningssand kan således inte förutses.

Någon förändring avseende lakvattenhalt från deponerad anrikningssand förutses således inte. De tidigare redovisade halterna bedöms fortsatt som relevanta (Processvattensammansättning, bilaga A2.E i mål 2090–19), se Bilaga 1.

Bedömning avseende påverkan på processvattenkvalitet

Brytning av Tapuli K nr 4 bedöms inte kunna påverka eller förändra sammansättningen av lakvatten från gråbergsupplaget, på länshållningsvatten från dagbrottet eller vid anrikning i anrikningsverket (vilken kommer att utföras utan flotation) varken i halt eller masstransport på ett sådant sätt att sammansättning på avbördat vatten kommer att ha högre halter eller större mängd som användes vid processvattenmodelleringen. Detta gör att tidigare modellerade mängder fortfarande är relevanta att använda vid bedömning av påverkan på recipient.

10. Klassificering av utvinningsavfall

10.1 Klassificering av gråberg

Gråberg från brytning av metallhaltig malm klassificeras alltid som:

- ”01 01 01 - avfall från brytning av metallhaltiga mineral”

Ovanstående klassning av gråberg gäller oaktat om gråberget är potentiellt syrabildande eller inte samt oaktat gråbergets innehåll av olika ämnen, t.ex. metaller. Orsaken till detta är att gråberg har en fast ingång som icke farligt avfall i avfallslistan. Gråberget från Tapuli har tidigare undersökts om det har sådana halter av farliga ämnen att det överskrider gränsen för farligt avfall (både som enskilda parametrar och summerat). Gråberget från Tapuli har tidigare inte uppvisat några sådana egenskaper och det bedöms inte heller i Tapuli K nr 4 kunna ske att detta skulle inträffa eftersom halterna förväntas sjunka.

Avseende klassificering som inert avfall så kommer det inte att vara aktuellt eftersom det sannolikt även för Tapuli K nr 4 kommer att uppvisas halter för vissa relevanta spårämnen som överstiger svensk bakgrundshalt.

10.2 Klassificering av anrikningssand

Anrikningssand från magnetseparation har i Tapuli tidigare klassificerats som

- ”01 03 06 - Annat gruvavfall än det som anges i 01 03 04 och 01 03 05”

Utifrån det faktum att metallhalterna i anrikningssand från Tapuli är låga och ligger långt under gränsen för farligt avfall. Inga metaller i sanden har analyserats i halter överstigande gränsvärde för beaktande vid summering. Därmed krävs ingen sammanvägd bedömning av gråbergets farliga egenskaper. Den nu genomförda utvärderingen av teoretisk sammansättning av framtida anrikningssand leder till bedömningen att den tidigare föreslagna klassificeringen alltjämt kommer att vara den korrekta.

11. Referenser

Baker, H. & Bonson, C. (2013). Evaluation of the Structural Geology of the Tapuli Iron Ore Project, Norrbotten, Sweden. Report UK5334 prepared for Northland Resources AB. SRK (UK) Limited.

Baker, H., Pattinson, D. & Reardon, C. (2011). Technical Review of the Kaunisvaara Iron Project, Sweden, June 2011. Report U4067 prepared for Northland Resources AB. SRK (UK) Limited. Bergman & Hellström, 2020

Denisova, N. (2013). Sulfide Distribution and its Relation to Different Types of Skarn Alteration at the Tapuli Deposit, Northern Sweden. Master’s thesis. Luleå Tekniska Universitet. Obtained from: http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1027996&dswid=2237.

Dishaw, G. & Lepley, B. (2021). A Mineral Resource Update for the Tapuli Iron Ore Deposit, Sweden. Report 31107 prepared for Kaunis Iron. SRK (UK) Limited.

Eriksson, N., Gupta, A., Destouni, G. (1997): Comparative Analysis of laboratory and field tracer tests for investigating preferential flow and transport in mining waste rock. Journal of Hydrology 194, 143 – 163.

Golder. (2019): Karakterisering av utvinningsavfall – Gråberg och anrikningssand från brytning och anrikning av Tapuli-, Palotieva- och Sahavaaramalm.

Geosyntec. (2025): PM Hydrogeologi för Tapuli K nr 4.

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

Lindroos, H., Nylund, B. & Johansson, K. (1972). Tapuli och Palotieva järnmalmsfyndigheter. Rapport rörande resultaten av SGU:s undersökningar under åren 1963–1969. Report 68:2. SGU.

Parkhurst, D.L. Appelo, C.A.J. (2013): Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3--A Computer Program for speciation, Batch-reaction, One-Dimensional Transport, and inverse Geochemical Calculations. U.S. Geological Survey. (Techniques and Methods; Book 6), 497 pp. Available from: https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43

SRK, 2010. Technical review of the Kaunisvaara iron project Sweden - Prepared Under National Instrument 43–101 and Accompanying Documents 43-101F1 and 43-101CP.

SRK (2014): Hydrogeokemisk modelljämförelse av strategier för gråbergshantering vid Tapuli gruvas gråbergsupplag, Sverige. Section 7.1 of the 2014 Northland EIA.

Geosyntec consultants

Bilaga 1

Processvattensammansättning

Projektnummer: SE2500775
Projektidentitet: Kaunis Iron Tapuli K NO 3

BILAGA E

Processvattensammansättning

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

TRANSPORTMODELLERING AV LÖSTA ÄMNEN I GOLDSIM OCH PHREEQC FÖR KAUNIS IRON:S GRUVVATTENHANTERING

1.0 INTRODUKTION

Denna PM har upprättats för att sammanfatta arbetsmetodik och preliminära resultat av GoldSim transportmodellering av lösta ämnen som genomförts som en del av beskrivningen av Kaunis Iron AB:s vattenhantering för planerad verksamhet med gruvbrytning i Tapuli, Palotieva och Sahavaara dagbrott med efterföljande anrikning av utbruten malm.

2.0 SYFTE OCH ARBETSBESKRIVNING

Syftet med den upprättade transportmodellen för lösta ämnen är att simulera vattenkvaliténs utveckling i de huvudsakliga vattenmagasinen (främst processvattenmagasinet och klarningsmagasinet) samt i det överskottsvatten som släpps ut till Muonio älv under gruvans drift.

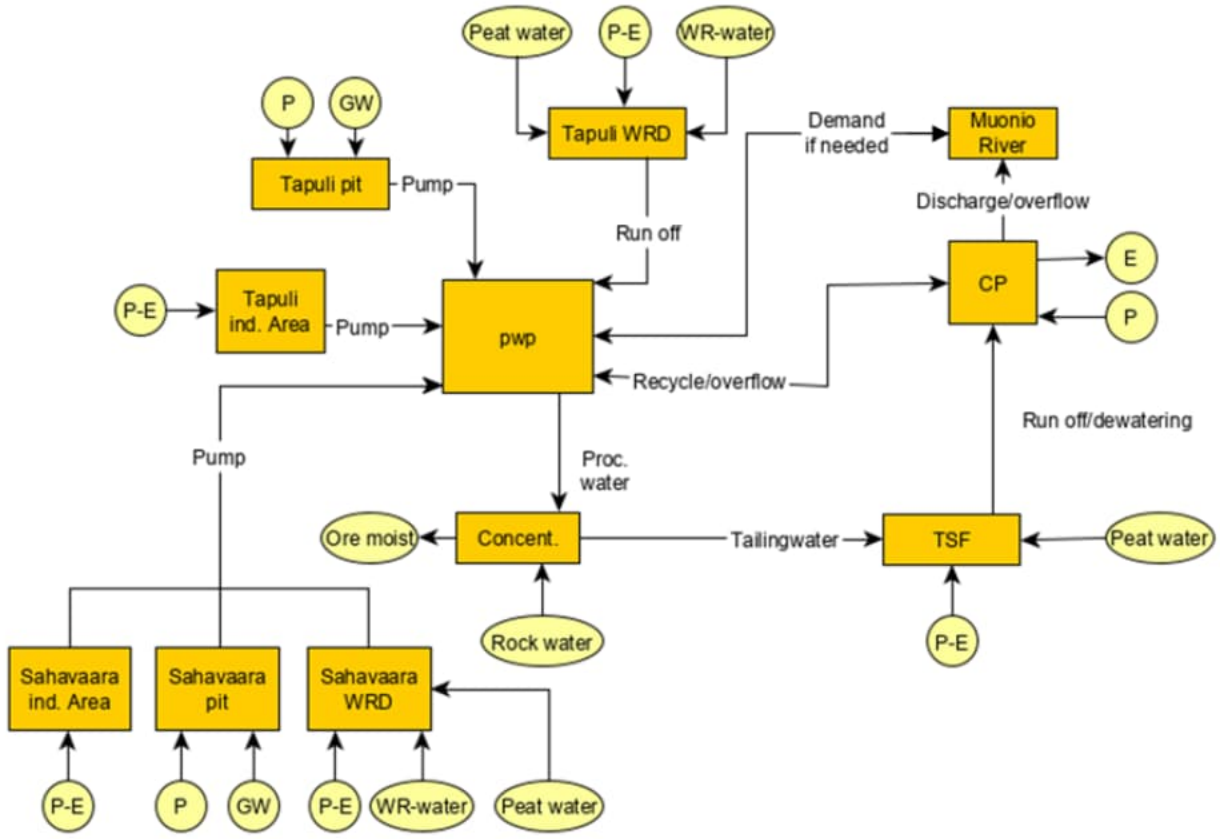
Två scenarion simuleras: Basfallsscenariot (utan någon vattenbehandling eller avfallsseparerande åtgärder) fungerar som en referensmodell för att belysa potentiella vattenkvalitetsproblem inom gruvans vattenhantering eller utsläppsvattnet, vilket kan förväntas om ingen vattenbehandling, avfallsseparering och/eller andra hanteringsstrategier implementeras. Resultatet från basfallsscenariot används för att härleda rekommendationer för vattenbehandling, avfallsseparering och/eller and hanteringsstrategier som kan förbättra vattenkvalitén om det bedöms nödvändigt.

Effekterna från vattenbehandling på vattenkvalitén i gruvans vattenhantering, utsläppsvatten och recipient simuleras i behandlingsscenariot.

3.0 METODIK

3.1 Vattenbalansmodell

Huvudkomponenterna i GoldSims vattenbalansmodell (som simulerar flöden och lagringen av vatten, men inte lösta ämnen) visas i Figur 1. Det omfattar både nuvarande gruvanläggningar i Tapuli gruv- och bearbetningsområdet, och de framtida gruvanläggningarna i gruvområdet Sahavaara. Vattenbalansmodellen är för närvarande under utveckling och några aspekter är fortfarande under utformning, men alla huvudsakliga gruvfunktioner och processer är redan genomförda. GoldSims vattenbalansmodell för Kaunis Iron (version 12/06/2019) har använts som grund för att konstruera transportmodellen för lösta ämnen i GoldSim.



Figur 1: Schematiskt flödesdiagram för Kaunis Iron gruva

3.2 Transportmodell för lösta ämnen

Transportmodellen för lösta ämnen konstruerades med användning av GoldSim version 12.1.2 # 166. Transportmodellen är centrerad kring processvattenmagasinet och klarningsmagasinet, som är de två viktigaste komponenterna i gruvans vattenhantering där blandning av vatten med olika ursprung sker (se figur 1, ovan).

3.2.1 Processvattenmagasinet

Processvattenmagasinet är den huvudsakliga vattenreservoaren för gruvan. Den tar emot vatten från följande platser och infrastruktur i gruvan:

- Pumpvatten från Tapuli gruva;
- Avrinning och läckage från Tapuli gråbergsupplag (WRD);
- Avrinning från förseglade ytor inom Tapuli industriområde;
- Direkt nederbörd över processvattenmagasinet;
- Avrinning och snösmältning från avrinningsområdena för processvattenmagasinet som inte påverkas av gruvans infrastruktur;
- Återvunnet processvatten från klarningsmagasinet;
- Råvatten från Muonio älv, som pumpas under vintern för att hindra rören från frysning och vid tillfällen där det finns ett underskott av vatten i systemet;

- I framtiden inkommer också kontaktvatten från Sahavaara gruvområde, inkluderat:
  - Pumpvatten från Sahavaara gruvan;
  - Avrinning och läckage från Sahavaara gråbergsupplaget;
  - Avrinning från förseglade ytor i Sahavaaras industriområde
- Samt, smältvatten från isen på processvattenmagasinet som tinas tillbaka i magasinet under våren.

Vattenutsläpp från processvattenmagasinet till Muonio älv sker om det finns ett överskott av vatten i processvattenmagasinet. Kontrolldata för processvattenmagasinet är tillgänglig från kontrollplatsen PRO4.

3.2.2 Klarningsmagasin

Klarningsmagasinet är den sekundära vattenreservoaren för gruvan. Den tar emot vatten från följande platser och infrastruktur i gruvan:

- Dräneringsvatten från sandmagasinet, innefattande
  a) Magnetiskt separerad anrikningssand;
  b) Flotationssand (den senare kommer att produceras när Sahavaara gruva är i drift);
- Direkt nederbörd över klarningsmagasin; och
- Avrinning, snösmältning och issmältning

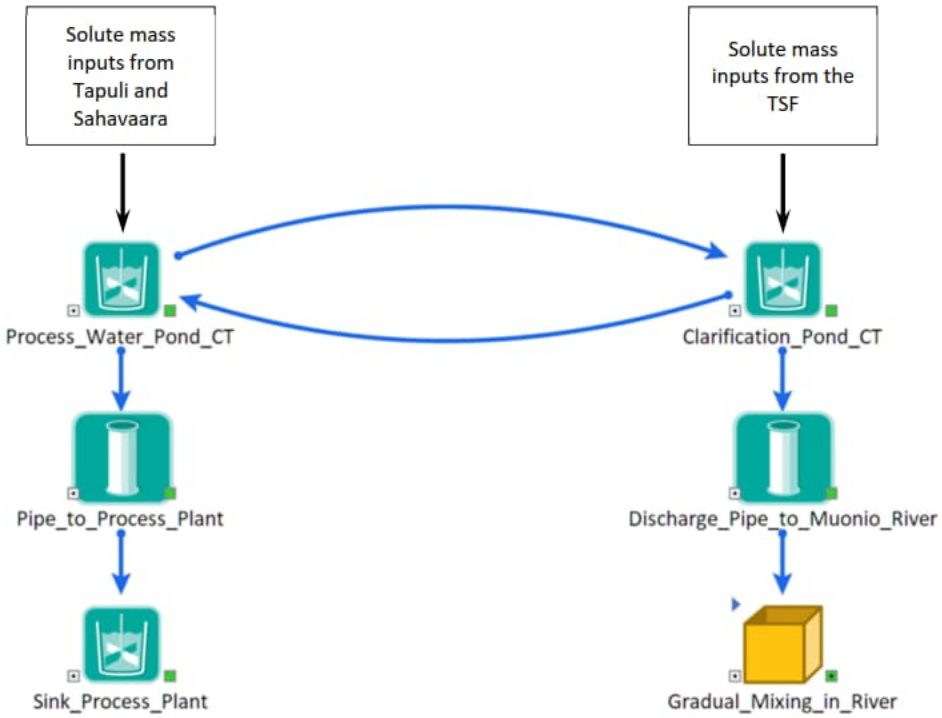
Vatten pumpas från klarningsmagasinet tillbaka till processvattenmagasinet vid tillfällen då det råder brist på vatten i processvattenmagasinet och överskott av vatten i klarningsmagasinet. Vanligtvis, om det finns ett överskott av vatten i klarningsmagasinet, släpps det till Muonio älv. Kontrolldata för processvattenmagasinet är tillgänglig från kontrollplatsen PRO6.

3.3 Blandningsmodellens inställningar

Den schematiska uppställningen av lösning- och transportmodellen visas i Figur 2. Den kemiska lösningens massbelastning för varje kemisk källa (som beskrivs i föregående avsnitt) beräknas utifrån sammansättningen och flödeshastigheten för varje vattentyp. De kemiska massbelastningarna läggs till processvattenmagasin- eller klarningsmagasin-blandningsceller för varje tidssteg i modelleringen, där GoldSim beräknar den kumulativa massan i varje blandningscell, vilka är integrerad med flödes- och volymdata från vattenbalansmodellen för att härleda lösningskoncentrationerna i varje cell. Vatten och kemisk massa flyttas sedan runt vattentransportsystemet enligt definitionen i vattenbalansmodellen.

Processanläggningen behandlas som en "svart låda", dvs. flödena av vatten och fasta substanser, och associerade kemiska reaktioner som förekommer i processanläggningen är inte uttryckligen representerade i modellen. I stället modelleras processanläggningen som en behållare som tar emot utsläpp från processvattenmagasinet, och sandmagasinet definieras som en källa till processvatten och kemisk massa till klarningsmagasinet.

Utsläpp från klarningsmagasinet till Muonio älv simuleras som en gradvis blandningsprocess, eftersom det har observerats att gruvvattnets utlopp inte blandas omedelbart med hela vattenflödet i Muonio älv. Vid nedströms övervakningspunkt SS39 har det beräknats att gruvvattnets utlopp bara blandas med ca 5 % av vattnet som strömmar i floden. Vidare nedströms, där forsar ligger i floden, blandas gruvans utsläppsvatten helt med hela flodflödet. Därför beräknar GoldSim-modellen först blandningen av gruvvattnet med 5 % av flödet i Muonio älv och sedan som ett andra steg blandningen av detta vatten med det återstående 95 % flödet i Muonio älv.



Figur 2: Schematisk flödesuppställning av blandningsmodellen.

Den lösta transportmodellen i sin nuvarande konfiguration simulerar konservativ transport av följande element: Al, As, Ba, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, NH_4_N, Ni, NO3_N, N_{tot}, pH, Pb, PO_4_P, Sb, SO_4, Sr, U, Zn, Alkalinitet

Följande begränsningar noteras:

- Inga dämpningsreaktioner som fällning av mineraler eller sorption av spårmetaller på mineralytor simuleras, därför kan de simulerade koncentrationerna ses som konservativa uppskattningar.
- GoldSim simulerar den upplösta koncentrationen av varje element, inte den totala (som innehåller suspenderade fasta ämnen) eller den biotillgänglig fraktion
- Simuleringen av pH och alkalinitet i GoldSim är problematiskt eftersom den buffrande effekten på pH inte simuleras i programmet. Därmed har inga pH-värden beräknats i GoldSim då det skulle representera en allt för bred estimering. En bättre estimering av pH från de blandade lösningarna kan tas fram genom geokemisk specierande koder så som PHREEQC, koden har utvecklats av US Geologial Survey (USGS) och är vida accepterat som branschstandard för geokemisk modellering. Denna kod simulerar mineralutfällning och sorptionsreaktioner med hög exakthet vilket med stor sannolikhet sker i klarningsmagasinet och processvattenmagasinet. En parallell termodynamisk blandningsmodell sattes upp i PHREEQC, beskrivet i sektion 3.5.

Flödes- och transportmodellen är upprättad för att driva 1000 realisationer baserade på stokastiskt klimat i en Monte Carlo-simulering och beräknar sedan sannolikhetsfördelningar för de resulterande flödena, volymen och elementkoncentrationerna.

3.4 Kemiska källtermer

De kemiska källtermerna beskriver de lokaler i lösningstransportmodellen där kemisk massa adderas till vattentransportsystemet. För den nuvarande basmodellen har Golder modellerat fram representativ kemisk uppsättning för källtermerna från tillgängliga geokemiska rapporter och övervakningsdata. Följande sektion beskriver den tillgängliga data för de olika lokalerna. Vid händelse att källdata saknades för ingående parametrar för den givna vattentypen estimerades ett värde från en lämplig proxy (se sektion **Fel! Hittar inte referenskälla.**). Processen beskrivs i sektion 3.4.12, tillsammans med en summering av källtermernas kemiska uppsättning.

3.4.1 Tapuli och and Sahavaara gråbergsupplag dränagevatten (läckage/ avrinning) –

Northland (2014) och SRK (2014) har producerat uppskattningar av koncentrationer lösta ämnen i kontaktvatten från Tapulis (Tabell 1) respektive Sahavaaras (Tabell 2) gråbergsupplag. Vattenkvaliteterna motsvarar läget vid produktionens avslut, när mängden gråbergsavfall är som störst och vittring har skett under ett antal år. För Sahavaara har kontaktvattnets kvalité uppskattats uppdelat mellan kontaktvatten som härstammar från icke syrabildande (NAF) och potentiellt syrabildande (PAF) gråberg från Sahavaara gruva. Estimeringen har även skett för en blandning av kontaktvatten härstammande från NAF och PAF tillsammans med grundvatten (har ej använts för Sahavaara gråbergsupplag nedan, utan som basutfall för att estimera vattenkvalitén för Sahavaaras dränagevatten).

Tabell 1: Estimerade koncentrationer lösta ämnen i kontaktvatten för Tapuli gråbergsupplag vid produktionsslut (Northland, 2014)

Parameter	Enhet	Tapuli
pH	S.U.	7,29
Alkalinitet	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

Tabell 2: Estimerad koncentration lösta ämnen i kontaktvatten för Sahavaara gråbergsupplag vid produktionsavslut (SRK, 2014)

Parameter	Enhet	NAF	PAF	Mixed NAF, PAF and groundwater
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 Dräneringsvatten från anrikningssand och flotationssand

Dekanterat vatten från anrikningsprocessen släpps tillsammans med solida partiklarna från anrikningsprocessen till sandmagasinet och uppsamling sker i klarningsmagasinet. Kvalitén på dräneringsvattnet från en nyligen genomförd undersökning av Tapulis malm (övervakningspunkt PRO9) har analyserats av Kaunis Iron i två prov från februari 2019. Medelhalterna i processvattnet redovisas i Tabell 3.

För Sahavaara malm, med märkbar skillnad i sammansättning vid jämförelse med Tapulis malm (specifikt en högre halt sulfid och innehåll av spårmetaller), genomförde SGS/LABTIUM under 2009 ett pilotförsök med flotationsprocess. Dräneringsvattnets sammansättning fastställdes i samband med pilotförsöken (medel av fyra RC-tot prov) användes för att estimera dräneringsvattnets (processvattnet) kvalitét från Sahavaara under den aktiva fasen (Tabell 3). Dräneringsvattnet från anrikningssanden vid Sahavaara (flotationssand) resulterade i ett lägre pH än för Tapuli, utöver detta var även koncentrationerna sulfat, Fe, Mn, Zn och Ni högre.

Tabell 3: Estimerad kvalité för anrikningssand och flotationssand.

Parameter	Enhet	Tapulis; dränering	Sahavaara; dränering
pH	S.U.	9,37	4,71
Alkalinitet	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 Tapuli centrala dagbrott länshållningsvatten

Tapuli gruvas kontaktvattens kvalitét har estimerat från data i övervakningspunkt PRO3 (mät mellan 2013 och 2019).

Tabell 4: Vattenkvalitet estimerad för Tapuli centrala dagbrott länshållningsvatten.

Parameter	Unit	PRO3 monitoring data
pH	S.U.	8,10
Alkalinitet	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 Tapuli norra dagbrott länshållningsvatten

Länshållningsvatten från Tapuli norra liknar sammansättning som länshållningsvattnet från Tapuli centrala.

3.4.5 Sahavaara dagbrott länshållningsvatten

Inga tillförlitliga estimeringar för länshållningsvattnet från Sahavaara fanns tillgängliga från tidigare geokemiska studier. I och med detta har kvalitén på Sahavaara dagbrotts länshållningsvatten konservativt uppskattats baserat dränagevattenkvalité från Sahavaara gråbergsupplag (se sektion 3.4.1 ovan). Koncentrationerna i gråbergsupplagets dränagevatten för blandningen av NAF/PAF-blandningen, som rapporterades av SRK (2014) multiplicerades med en faktor på 0,75 för att ta hänsyn till det lägre förhållandet mellan fast/löst i gruvan väggavrinning. Den förutsatta sammansättningen redovisas i Tabell 5.

Tabell 5: Sahavaara dagbrotts länshållningsvattenkvalitét.

Parameter	Enhet	Sahavaara pit
pH	S.U.	6,98
Alkalinitet	mg/l $CaCO_3$	n/a
Cl	mg/l	71,72
SO_4	mg/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 Palotieva dagbrotts länshållningsvatten

Berget som planeras att brytas vid Palotieva dagbrott förväntas innehålla högre halter sulfit än Tapuli, i likhet med berget vid Sahavaara. Palotieva dagbrotts länshållningsvatten har angivits liknande sammansättning som Sahavaara dagbrotts länshållningsvatten.

3.4.7 Bergtäktsvatten

En bergtäkt i närheten av Tapuli dagbrott planeras att användas för deponering av flotationssand. Före deponering kommer täkten att fyllas med grundvatten. Flotationssanden förväntas bestå av en volymetrisk vattenhalt på ungefär 61,9 %, det vill säga en volymetrisk halt av fasta ämnen på 38,1 %. Den totala volymen deponerad flotationssand (dvs. fasta ämnen och porvattnet i materialet) kommer tränga undan en ekvivalent vattenvolym av de vattnet som redan finns i täkten. Medelsammansättningen för det undanträngda vattnet har konservativt estimerats under antagande att allt porvatten i flotationssanden kommer blandas med vattnet i täkten samt att de fasta partiklarna i anrikningssanden kommer att ersätta en ekvivalent volym av grundvattnet i täkten. Resultatet av beräkningen redovisas i Tabell 6.

Tabell 6: Estimerad sammansättning av det undanträngda vattnet från täkten vid deponering av flotationssand.

Parameter	Enhet	Tapuli grundvatten	Sahavaara sandmagasinsvatten	Undanträngd vattenblandning
Fraktion:		***38,1%***	***61,9%***	
pH	S.U.	6,62	4,71	5,44
Alkalinitet	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 Torvvatten

Torvlagret som underlagrar större delen av gråbergsupplagen och sandmagasinet kommer att komprimeras under gruvans livstid i och med den ökade vikten av gråberg och anrikningssand och porvattnet i torven kommer att tryckas ut och dräneras till gruvans vattenhanteringssystem. Northland (2013) estimerade sammansättningen hos torvvattnet baserat på analyser av torvvattnet i Tapuli och generella data från torvproduktion i Finland (Tabell 7). Majoriteten av de antagna värdena härstammar från Tapulis data och endast ett fåtal parametervärden (kursiverade och fetmarkerade i Tabell 7) härstammar från den generella data från Finland.

Tabell 7: Koncentrationerna i torvens porvatten uppmätta i Tapuli samt i dränerat vatten från torvproduktion i Finland. Fetmarkerade värden från torvproduktionen hänvisar till de halter som användes istället för Tapulis värden. Källa: Northland (2013)

Parameter	Enhet	Tapuli uppmätt *Median*	Torvproduktion i Finland	Tapuli sammanfogad data *Median*
pH	S.U.	5,7	6,2	5,7
Alkalinitet	mg HCO_3/l	52		52
Suspenderade ämnen	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 (Ofiltrerat)	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 Nederbörd – regn och smältvatten

Nederbördens sammansättning (regn och snösmältning) definierades som rent vatten utan löst lösningar eller suspenderade fasta ämnen. pH-värdet för nederbörden bestämdes till pH 5,5, vilket är pH värdet vid jämvikt med CO_2 i atmosfären.

3.4.10 Muonio älvs vatten

Det finns två provtagningspunkter i Muonio älv som används som referens:

- SS38 (uppströms gruvans utloppspunkt): övervakningsstationen användes för att härleda inflödet av råvatten från älven samt flödeshastigheten på gruvvattnets inflöde.
- SS39 (nedströms gruvans utloppspunkt): medelvattenkvaliteten vid denna övervakningspunkt används som referens i jämförelsen mellan GoldSims modellering (efter partiell blandning med vattnet som flödar i älven) och observerade data.

Medelvattenkvaliteten (mätt mellan 2011 och 2019) vid båda övervakningspunkterna redovisas i tabell (i Tabell 8).

Tabell 8: Medelvattenkvalitet I Muonio älv upp- (SS38) och nedströms (SS39) om gruvans utlopp.

Parameter	Enhet	SS38	SS39
pH	S.U.	6,91	6,98
Alkalinitet	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 Tapuli och Sahavaara industriområdens ytavrinning

Gällande antagande är att avrinning från industriområden består av främst ren nederbörd. Ingen övervakningsdata finns tillgänglig för industriområdena. Det har därmed estimerats att nederbördens sammansättning är aningens mer mineraliserat än rent regnvatten och vattenkvaliteten från Muonio älv uppströms om utloppet (SS38) användes som proxy.

3.4.12 Estimering av parametrar

För vissa av parametrarna som simuleras saknas källdata för en given vattentyp, dessa estimeras genom en lämplig proxy som källterm. Resultatet av denna process redovisas i Tabell 9, tillsammans med en summering av alla källtermernas sammansättningar.

Tabell 9: Summering av källtermernas sammansättning, med estimering av parametrars där det krävs.

Parameter	Enhet	Tapuli gråberg	Sahavaara gråberg - NAF	Sahavaara gråberg - PAF	Sahavaara gråberg - blandad	Anrikningss-sand	Fliotaions-sand
pH	S.U.	7,29	7,84	4.00	4,50	9,37	4.71
Alkalinitet	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

Fotnot:

[a]: *Estimering från data för anrikningssand*

[b]: *Estimering från data för flotationssand*

[c]: *Estimering från provtagning och analys av länshållningsvatten från Tapuli dagbrott (PRO3)*

(forts.): Summering av källtermernas sammansättning, med estimering av parametrar där det krävs.

Parameter	Enhet	Tapuli gruva	Sahavaara gruva	Tapuli grundvattem	Stenbrott	Torvvatten
pH	S.U.	8,1	4,62	6,62	5,44	5,7
Alkalinitet	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

Fotnot:

[c]: Estimerat från provtagning och analys av länshållningsvatten från Tapuli dagbrott (PRO3)

[d]: Estimerat från data för Tapuli gråberg

[e]: Estimerat från provtagning och analys av vatten från Muonio älv uppströms (SS38)

(forts.): Summering av källtermernas sammansättning, med estimering av parametrar där det krävs.

Parameter	Enhet	Regn/snö	SS38	SS39	Tapuli Industriområde [e]	Sahavaara Industriområde [e]
pH	S.U.	5,5	6,91	6,98	*6,91*	*6,91*
Alkalinitet	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*

Fotnot:

[e]: *Estimerat från provtagning och analys av vatten från Muonio älv uppströms (SS38)*

3.5 PHREEQC geokemisk modellering

Som nämnts i avsnitt **Fel! Hittar inte referenskälla.**, byggdes en termodynamisk modell genom att använda PHREEQC Interactive (version 3.5.0.1400) för att simulera pH och alkalinitet i vattnet samt mineralutfällning och sorptionsreaktioner med hög exakthet. Det månatliga medelvärdet för flödeshastigheter och dammvolymer från 1000 GoldSim Monte Carlo realisationer användes för att beräkna blandningsfraktionerna för de olika källtermsvatten i sandmagasinet, klarningsmagasinet och processvattenmagasinet samt med en gradvis blandning av utsläppsvattnet och vattnet i Muonioälven. Påverkan från isbildning, evaporation samt is- och snösmältning ingick även i beräkningarna.

Blandningsberäkningarna transkriberades till PHREEQC, där blandning, geokemisk jämvikt med lämplig mineralfas och sorptionsreaktioner simulerades. I klarningsmagasinet och processvattenmagasinet antogs att vattnet är i kontakt med atmosfären och att jämvikt gäller mellan koncentrationerna O_2 och CO_2 i atmosfären. Den termodynamiska databasen MINTEQ.v4 användes för att beräkna mättnadsindex i de mineralfaser som ingick i databasen. Följande mineraler, som anses som stabila under de geokemiska förhållanden som gäller i klarningsmagasinet och processvattenmagasinet, tilläts att fälla ut till jämvikt om de var övermättade i den råa blandningen:

- $Al(OH)3_{am}$ 0 0
- Ferrihydrit
- Kalcit
- Baryt
- Hausmannit
- Birnessit
- Manganit

Utöver detta modellerades sorption av spårmetaller till utfällningar av ferrihydrite.

3.6 Modelleringsscenarion

Två transportmodelleringsscenarion har simulerats:

a) Basfallet, vilken inte inkluderar vattenkvalitétsåtgärder.
b) Behandlingsfallet, vilken innebär att länshållningsvatten från Sahavaara dagbrott och dränagevatten från potentiellt syrabildande gråberg behandlas genom alkalidosering till pH 10,5 (eventuellt i kombination med tillsats av järnsulfat) samt sedimentering innan det pumpas vidare till processvattenmagasinet. Det antas att en sådan behandling ger en 90 % reduktion av Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, U och Zn, samt 70 % reduktion av sulfat. Dessa anses som konservativa uppskattningar, vid pH 10,5 reduceras vanligtvis en större andel av dessa lösta ämnen i ett aktiv vattenreningsprocess. Sammansättningen av det behandlade vattnet från Sahavaara dagbrott och dränagevattnet från det potentiellt syrabildande gråberget redovisas i Tabell 10.

Tabell 10: Antagen sammansättning av det behandlade länshållningsvattnet från Sahavaara dagbrott och dränagevattnet från det potentiellt syrabildande gråberget i behandlingsfallet.

Parameter	% renat	Behandlat Sahavaara dränagevatten från PAF-gråberg	Behandlat: Sahavaara länshållningsvatten
pH		10,5	10,5
Alkalinitet		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 RESULTAT

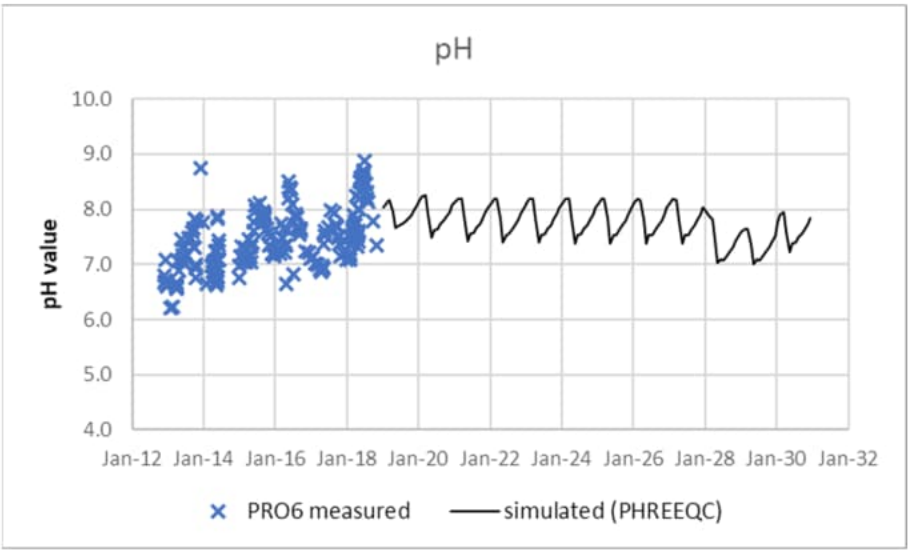
I följande avsnitt presenteras och diskuteras resultat av transportsimuleringarna. Redovisade resultat från GoldSim är medelvärdet (aritmetiskt medel) beräknat från 1000 Monte Carlo realisationer(modellkörningar) resultatet från PHREEQC är baserade på blandningsfraktionerna härledda från månatliga medelvärdet från de 1000 GoldSim Monte Carle realisationerna för flödeshastighet och dammvolymer.

4.1 Basfallsscenariot

4.1.1 Vattenkvaliténs utveckling i klarningsmagasinet

Som nämnt i metodikavsnittet, simulerades pH enbart med PHREEQC. Den simulerade utveckling av pH-värdet redovisas i Figur 3 där den jämförs med det historiskt observerade data som mäts i klarningsmagasinet (övervakningspunkt PRO6). Mellan 2019 och 2027 fluktuerar de simulerade pH mellan pH 7,5 och pH 8,3, i likhet med det observerade data i övervakningspunkten. Dessa fluktuationer beror på förändringar i flödeshastigheten av alkalint dräneringsvatten från anrikningssanden, dåligt buffrande nederbörd och från processvattenmagasinet samt isbildning på klarningsmagasinet. Inflödet av surare dräneringsvatten från Sahavaaras anrikningssand från 2021 och framåt har liten effekt på pH i klarningsmagasinet eftersom tillräcklig alkalinitet finns tillgänglig. Mellan 2028 och 2030, när Tapuligruvans verksamhet har upphört och endast Sahavaara och Palotieva är aktiva sjunker pH till värden mellan 7,0 till 8,0. detta få de alkalina inflödet från Tapulis anrikningssand har upphört.

PHREEQC beräknar även laddningsbalansen mellan lösningarna som standard. Det procentuella felet för katjoner – anjoner i det blandade vattnet i klarningsmagasinet varierar mellan -7,8% och +8,4%, en indikator att alla större kat- och anjoner har ingått i beräkningen.



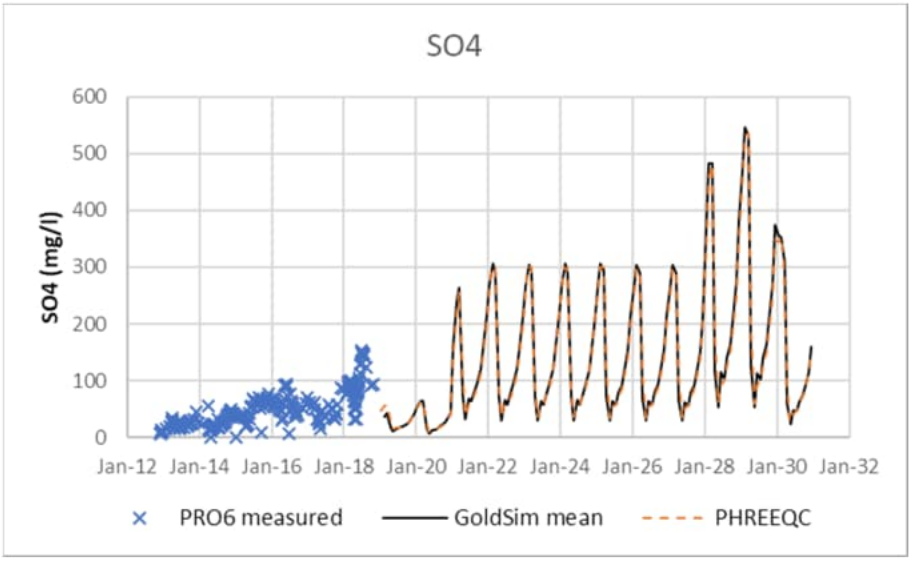
Figur 3: Utvecklingen av pH i klarningsmagasinet för basfallsscenariot.

Alla övriga lösningar (utöver pH) har simulerats i båda GoldSim och PHREEQC. Den simulerade utvecklingen för sulfatkoncentrationen i klarningsmagasinet, tillsammans med data från övervakningspunkt PRO6, redovisas i Figur 4. Den simulerade data visar tre tydliga skeden. Mellan 2019 och 2020 (skede 1) fluktuerar den simulerade sulfatkoncentrationen (både aritmetiskt medel från GoldSim och PHREEQC simuleringen) mellan 20 mg/L och 65 mg/L, i likhet med de värden som mätts upp i nyare övervakningsdata. Mellan 2021 och 2028 (skede 2) ökar sulfatkoncentrationen till värden mellan 40 och 300 mg/L på grund av tillförseln av vatten från Sahavaaras flotationskrets. Efter 2028 (skede 3), ökar toppkoncentrationerna till uppemot 540 mg/L då allt

dräneringsvatten från anrikningssanden härstammar från den sulfatrika anrikningssanden från Sahavaara och Palotieva.

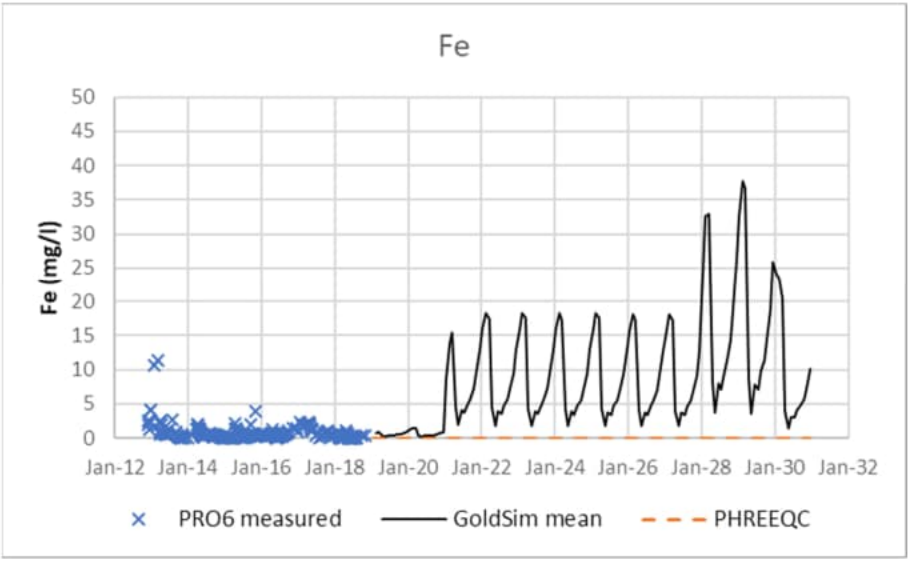
Det finns en god korrelation mellan GoldSims och PHREEQC:s simuleringar för sulfatet eftersom sulfatet inte fäller ut eller adsorberar under de förhållanden som gäller i klarningsmagasinet. Minder avvikelser sker på grund av de olika tidsstegen (dagliga för GoldSim och månatliga PHREEQC).

De simulerade årliga fluktuationerna beror på de förändrande attributen från de olika vattentyperna på den totala vattenbalansen i klarningsmagasinet samt bildning och smältning av is.de högsta koncentrationerna varje år hittas sker i april då isbildningen är som störst. När is byggs upp (bestående av rent vatten och inga lösningar) leder det till att den samma totala massan lösta ämnen befinns i en mindre vattenvolym och koncentrationen ökar. Under våren, när isen smälter, skapar smältvattnet en spädande effekt vilket ger ett observerat fall i koncentrationerna.



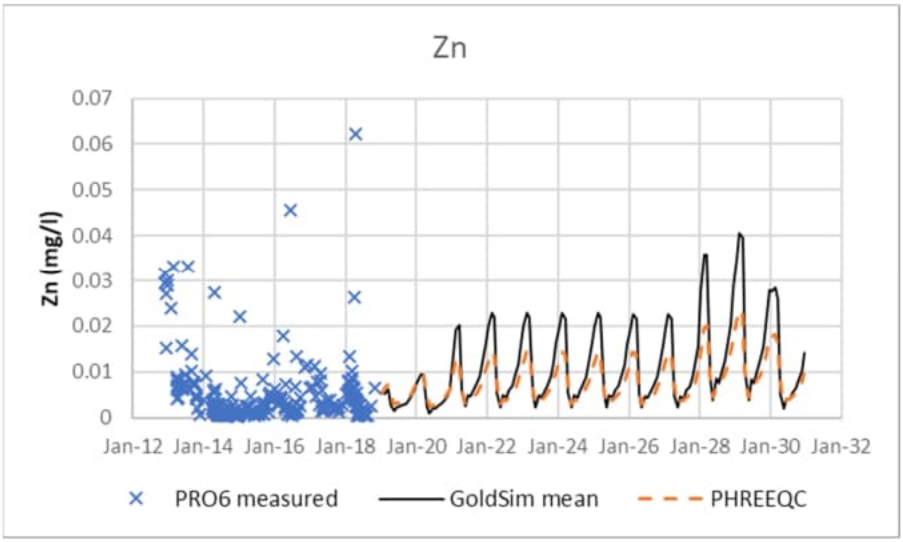
Figur 4: Sulfatkoncentrationens utveckling i klarningsmagasinet för basfallsscenariot.

Järnkoncentrationerna redovisas i Figur 5. GoldSim, som simulerar konservativ (odämpad) transport av järn, förutspår koncentrationer upp till 1.5 mg/L under 2019 – 2020, med en ökning till toppkoncentrationer på 18 mg/L under 2012 – 2027 och upp till 38 mg/L under 2028 – 2030. Dessa koncentrationer är orimligt höga för de alkaliska pH och oxiska förhållande som gäller i klarningsmagasinet, där alla järnjoner förväntas fällas ut som ferrihydrit. PHREEQC-beräkningarna, som simulerar utfällning av ferrihydrite vid det alkaliska pH i klarningsmagasinet indikera mycket lägre koncentrationer under hela simuleringsperioden. Modelleringen med PHREEQC anses därmed vara med realistisk under de förhållanden som gäller i klarningsmagasinet.



Figur 5: Järnkoncentrationens utveckling i klarningsmagasinet för basfallsscenariot.

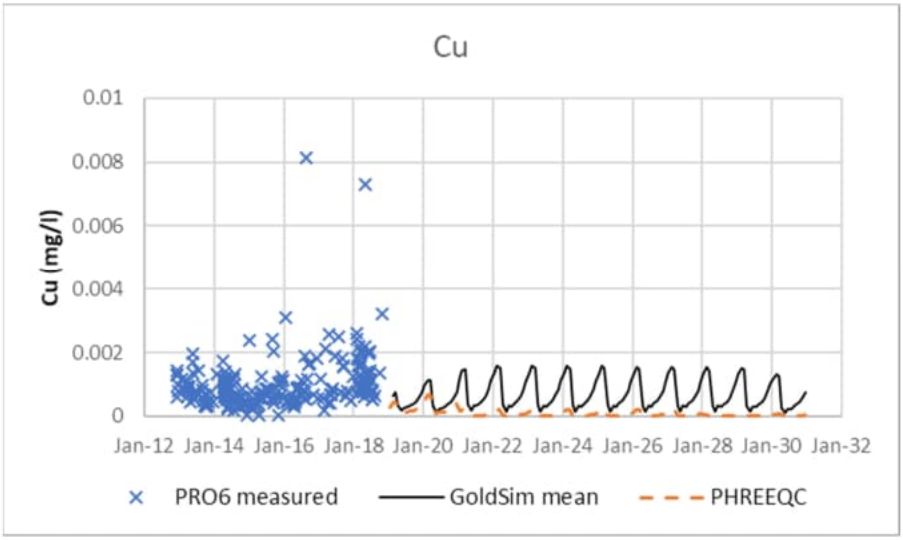
Den simulerade zinkkoncentrationen i klarningsmagasinet och övervakningsdata från PRO6 redovisas i Figur 6. Från modelleringen i GoldSim framgår att mellan 2019 och 2020 fluktuerar zinkkoncentrationen upp till 0.01 mg/L (i likhet med tillgängliga övervakningsdata). Mellan 2021 och 2027 ökar toppkoncentrationen till 0.02 mg/L på grund av större zinkbelastning från Sahavaaras anrikningssand. Efter 2028 stiger toppkoncentrationen till 0.04 mg/L, främst då dräneringen från Tapuli stoppats och att allt dräneringsvatten härstammar från Sahavaaras och Palotievas malm. PHREEQC förutspår lägre koncentrationer än GoldSim från 2021 och framåt, eftersom ungefär hälften av zinken adsorberar till ytan av den ferrihydrit som fällts ut i klarningsmagasinet. En viktig notering är att både GoldSim och PHREEQC simulerar löst zink och inte biotillgängligt vilket förväntas vara i mycket lägre koncentrationer.



Figur 6: Zinkkoncentrationens utveckling i klarningsmagasinet för basfallsscenariot.

Kopparkoncentrationerna redovisas i Figur 7. GoldSim förutspår toppkoncentrationer upp till 0,0018 mg/L genom gruvans hela livslängd. PHREEQC förutspår mycket lägre koncentrationer med max runt 0,0007 mg/L

på grund av sorptionen av koppar på utfällt ferrihydrit. Även i detta fall simuleras den löst kopparhalten och inte den biotillgängliga som förväntas vara mycket lägre.

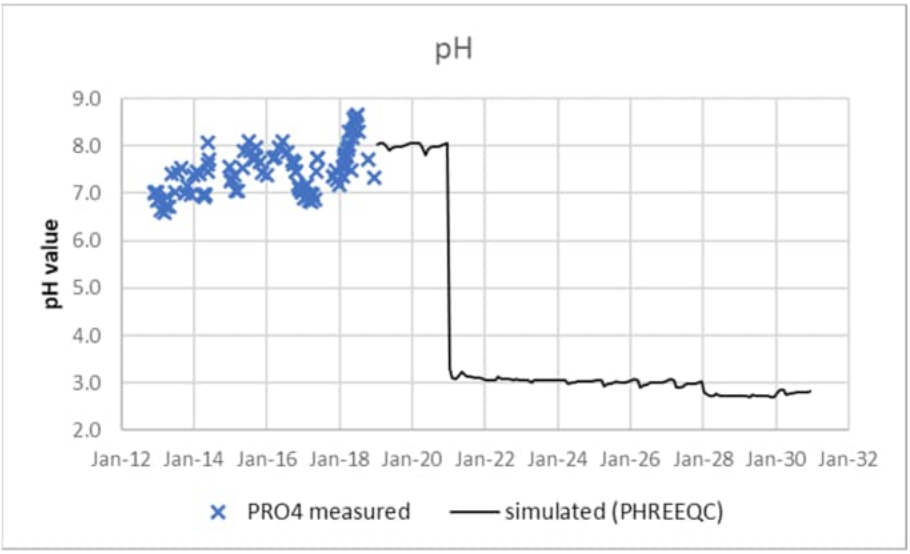


Figur 7: Kopparkoncentrationens utveckling i klarningsmagasinet för basfallsscenariot.

4.1.2 Vattenkvaliténs utveckling i processvattenmagasinet

Den simulerade utvecklingen av pH (simulerat av PHREEQC) redovisas i Figur 8 där det jämförs med historiska mätningar av pH i processvattenmagasinet i övervakningspunkt PRO4. Mellan 2019 och 2020 fluktuerar pH-värdet runt pH 8, i likhet med nyligt genomförda mätningar. Från 2021 och framåt, när surare gruvvatten från Sahavaara tillkommer, sker en märkbar sänkning av det simulerade pH-värdet till runt pH 3. Från 2028 och framåt, när Tapuli dagbrott är avslutad och enbart Sahavaara- och Palotieva dagbrott är aktiva, sjunker det simulerade pH-värdet till pH 2,8.

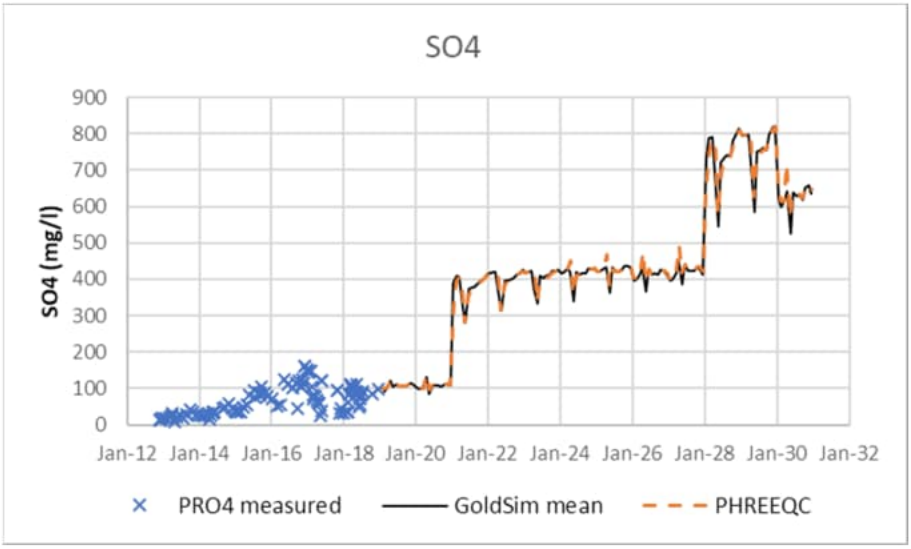
PHREEQC beräknar även laddningsbalansen i lösningar som standard. Det procentuella fel för katjoner – anjoner i det blandade processvattenmagasinsvattnet varierar mellan +4,3 % och +19.0 %. Det är generellt accepterat att laddningsbalansen en felmarginal mellan +-20 % är vanliga i analytiska resultat, en indikation att alla större kat- och anjoner har ingått i beräkningarna.



Figur 8: Utvecklingen av pH-värdet i processvattenmagasinet för basfallsscenariot

Den simulerade sulfatkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet tillsammans med tillgängliga data från övervakningspunkt PRO4 redovisas i Figur 9. Mellan 2019 och 2020 är sulfatkoncentrationen förutspådd att fluktuera runt 100 mg/L, i likhet med nyligt genomförda mätningar. Mellan 2019 – 2028, när Sahavaara gruva är aktiv, förväntas sulfatkoncentrationen att öka till 400 mg/L på grund av det högre sulfatkoncentrationen i Sahavaaras malm. Från 2028 och framåt, när Tapuli dagbrott har avslutats och enbart Sahavaara och Palotieva är aktiva, förväntas sulfatkoncentrationen att ytterligare öka till 820 mg/L.

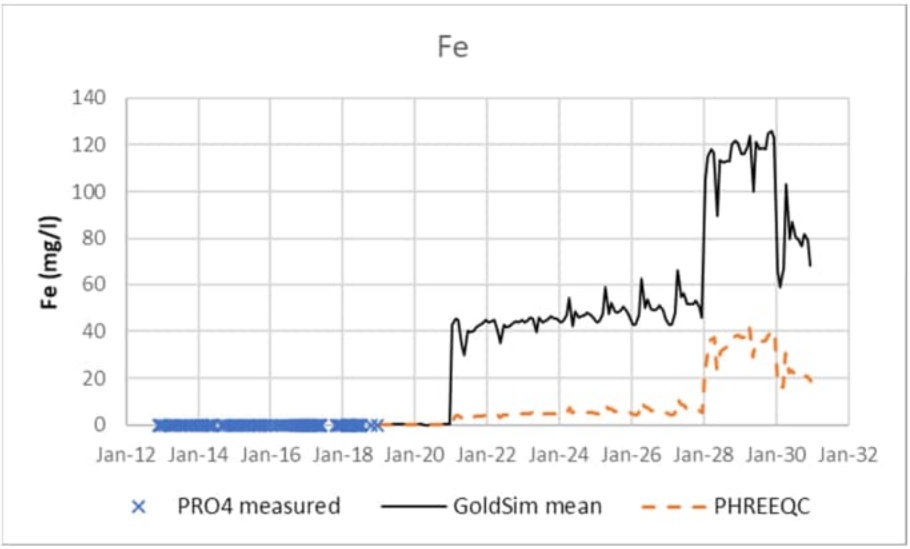
I likhet med klarningsmagasinet beror de simulerade fluktuationerna i koncentrationen på ändrad sammansättning för olika vatten typer som tillkommer den totala vattenbalansen i processvattenmagasinet samt isbildningen och smältningen i processvattenmagasinet.



Figur 9: Utvecklingen av sulfatkoncentrationen i processvattenmagasinet för basfallsscenariot.

Järnkoncentrationen redovisas i Figur 10. Mellan 2019 – 2020 förutspår både GoldSim och PHREEQC låga Fe-koncentrationer runt 0.4 mg/L, i likhet med övervakningsdata från PRO6. Detta beror på det alkaliska pH-värdet

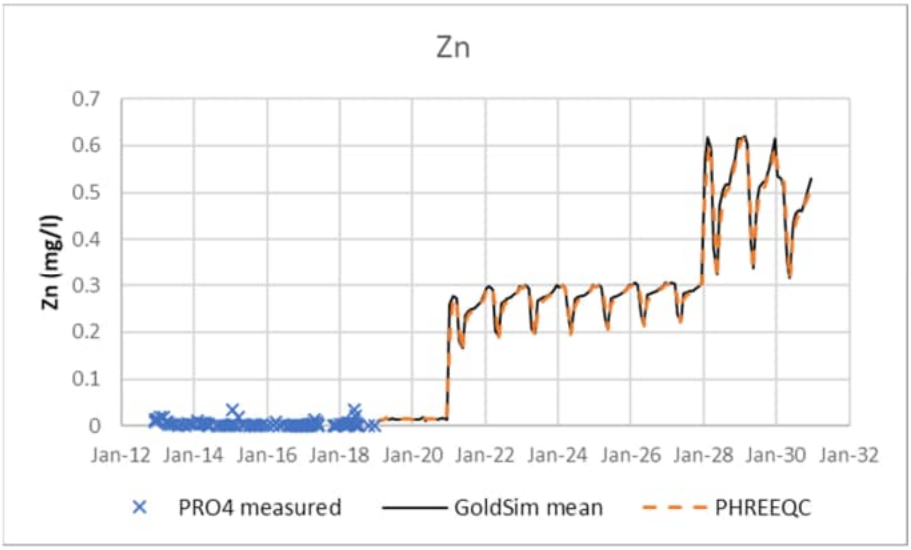
där järns löslighet är mycket låg. Från 2021 och framåt, när surare vatten från Sahavaara tillkommer processvattenmagasinet, ökar järnkoncentrationen kraftigt. Den odämpade GoldSim simuleringen förutspår koncentrationer mellan 30 och 66 mg/L från 2021 fram till 2027 på grund av den högre järnbelastningen från Sahavaara. PHREEQC förutspår lägre koncentrationer runt 10 mg/L för samma tidsperiod, på grund av utfällningen av ferrihydrit. Från 2028 fram till 2030 fortsätter koncentrationen att öka. GoldSim simulerar koncentrationer upp till 125 mg/L, medan PHREEQC simulerar en koncentrationsökning upp till 40 mg/L på grund av utfällningen av ferrihydrit.



Figur 10: Järnkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för basfallsscenariot.

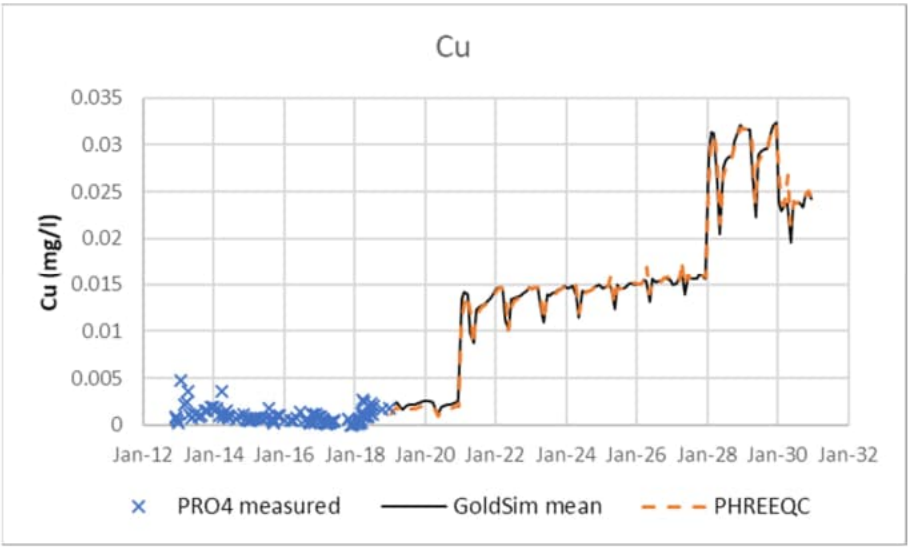
Zinkkoncentrationerna redovisas i Figur 11. Mellan 2019 – 2020 är de simulerade GoldSim och PHREEQC koncentrationerna i processvattenmagasinet runt de halter som observerats nyligen, runt 0,015 mg/L. Från 2021 och framåt, när Sahavaaras gruva är aktiv, förväntas zinkkoncentrationen öka till mellan 0,2 och 0,3 mg/L. När Palotieva dagbrott ansluter vid 2029 förväntas koncentrationen öka till 0,6 mg/L. Notera att resultatet representera den totala lösta koncentrationen och inte biotillgänglig zink som förväntas i mycket lägre koncentrationer.

För basfallsscenariot är skillnaderna mellan GoldSim och PHREEQC mycket mindre i processvattenmagasinet än klarningsmagasinet. Vid ett lägre pH, som i processvattenmagasinet, har sorptionsplatserna mycket mindre negativa laddningar än vid alkaliska pH och mycket mindre sorption av spårmetaller till den utfällda ferrihydriten sker.



Figur 11: Zinkkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för basfallsscenariot.

Kopparkoncentrationens utveckling (Figur 12) är lik den för zink, fast med mycket lägre koncentrationer. Från 2019 fram till 2020 förutspår både GoldSim och PHREEQC koncentrationer upp till 0,002 mg/L, i likhet med nyligt observerat data i PRO6. Mellan 2020 – 2027 förväntas koncentrationer öka till mellan 0,002 – 0,018 mg/L och mellan 2028 – 2030 öka till 0,020 – 0,032 mg/L. Det är mycket liten skillnad mellan GoldSims och PHREEQC:s simuleringar på grund av den reducerade sorptionen på ferrihydrit vid sura pH-värden.



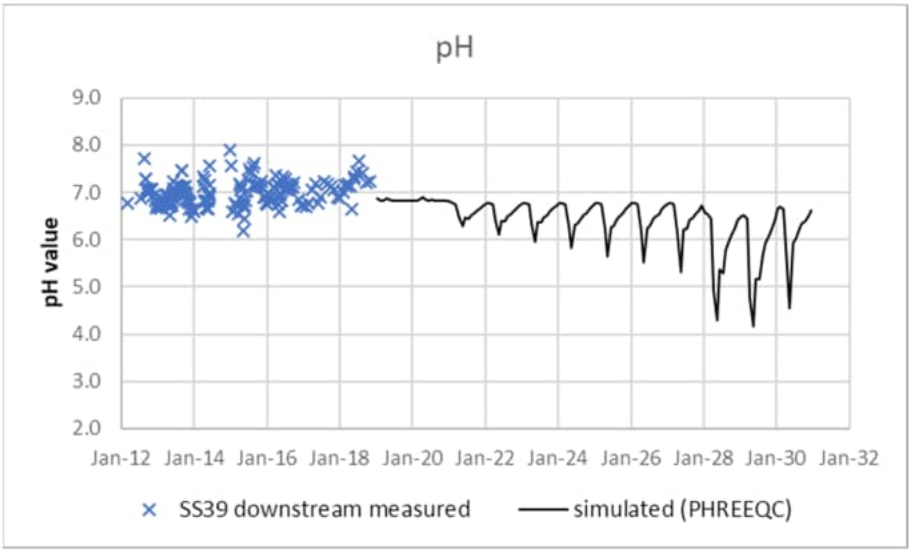
Figur 12: Kopparkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för basfallsscenariot.

4.1.3 Vattenkvaliténs utveckling i Muonio älv

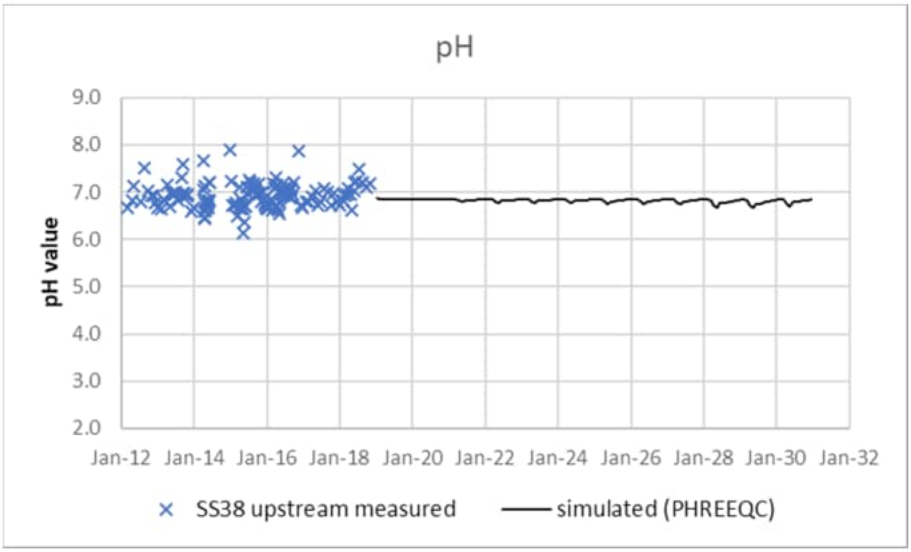
Som nämnt i avsnitt 3.0 är effekten från utsläppet av gruvvatten från klarningsmagasinet till Muonio älv simulerad som en gradvis skeende blandningsprocess. GoldSim och PHREEQC modellerar först blandningen av gruvvattnet med ungefär 5 % av vattnet som flödar i älven, vilket är ekvivalent till de estimerade förhållandena vid nedströms övervakningspunkt SS39. Efter detta simulerar modellerna blandningen av detta vatten med resterande 95 % av flödet i Muonio älv, ekvivalent med situationen nedströms vid en fullständig inblandning.

Det, av PHREEQC, simulerade pH-värdet för 5 % inblandning till Muonio älv redovisas i Figur 13 tillsammans med de uppmätta värdena vid övervakningspunkt SS39. Det simulerade pH mellan 2019 – 2020 ligger runt pH 6,9 under den operationella fasen, i likhet med uppmätta värden i SS39. Från 2021 och framåt när pH-värdet i utsläppsvattnet förväntas vara surare, förutspås att pH-värdet vid SS39 (5% blandning) sjunker med en säsongsminimum i maj varje år när utsläppet är som störst på grund av snösmältningen. Det årliga minimumet sjunker från pH 6,3 under 2021 till pH 4,3 under 2029.

För 100 % blandning i älven, redovisat i Figur 14, är effekten på älven vattenkvalité från gruvans utsläpp mycket mindre. Det simulerade pH-värdet ligger runt pH 6,8 under hela den operativa dasen med ett minimum runt pH 6,7 under våren varje år. De simulerade värden är jämförda med uppmätt vattenkvalitévärden uppströms (SS38) om utloppet och faller mitt mellan det uppmätta intervallet.

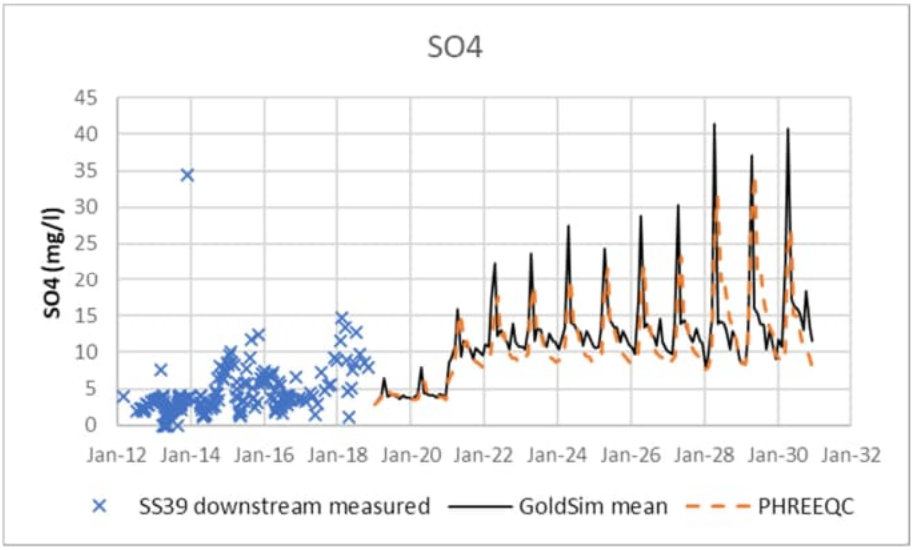


Figur 13: Utvecklingen av pH i Muonio älv med antagandet 5% blandning för basfallsscenariot.

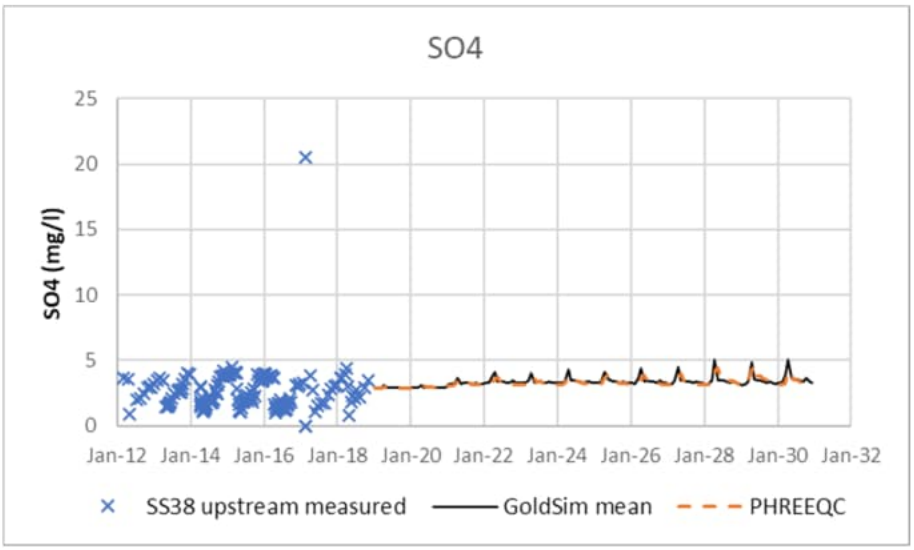


Figur 14: Utvecklingen av pH i Muonio älv med antagandet 100% blandning för basfallsscenariot.

Den simulerade sulfatkoncentrationen i älven vid 5 % och 100 % blandning redovisas i Figur 15 respektive Figur 16. Vid 5 % blandning visar sulfatkoncentrationen är gradvis ökning under gruvans livslängd med toppar vid 42 mg/L. Vid 100 % blandning är effekten från utsläppet av gruvvattnet på sulfatkoncentration mycket liten med en maximal koncentration runt 5 mg/L, i likhet med det koncentrationsintervallet som uppmätts uppströms om utloppet (SS38).



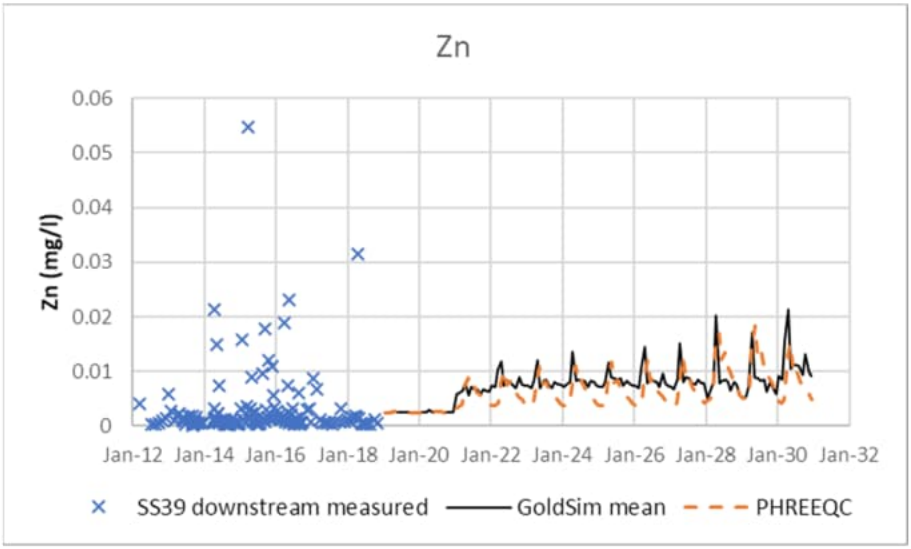
Figur 15: Sulfatkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 5% blandning för basfallsscenariot.



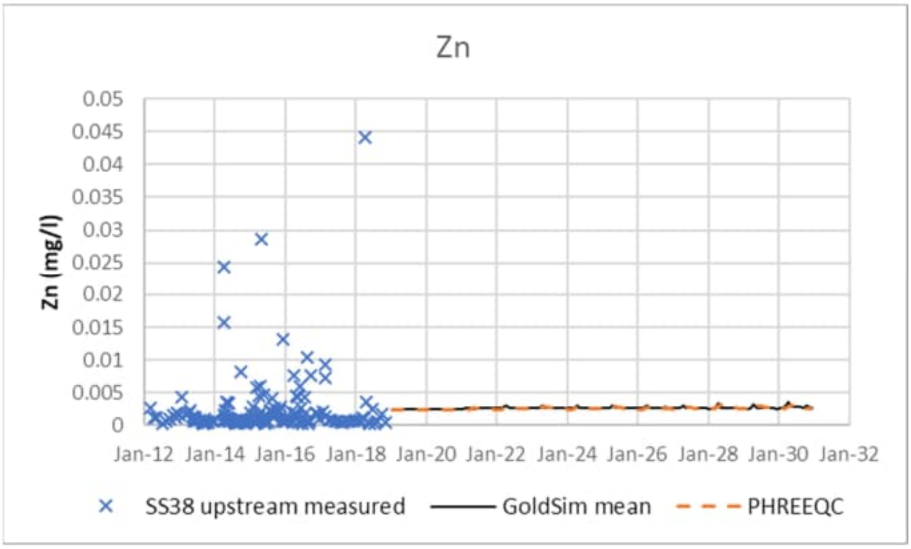
Figur 16: Sulfatkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 100% blandning för basfallsscenariot

En liknande situation är förutspådd för zinkkoncentrationen (Figur 17 och Figur 18). För 5 % blandning ökar zinkkoncentrationen gradvis under den operative fasen med toppkoncentrationer upp till 0,022 mg/L. Dessa värden representerar lösta koncentrationer inte biotillgängliga halten zink som förväntas vara mycket lägre. För

100 % blandning är effekten från gruvvattnets utsläpp på zinkkoncentrationen i älven är mindre med medelkoncentrationer mindre än 0,003 mg/L förutspått av både GoldSim och PHREEQC.

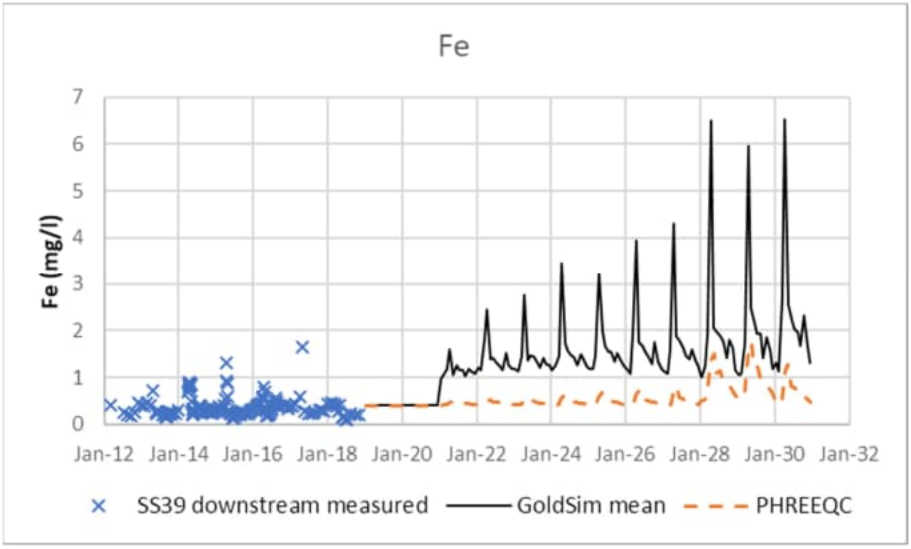


Figur 17: Zinkkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 5% blandning för basfallsscenariot.

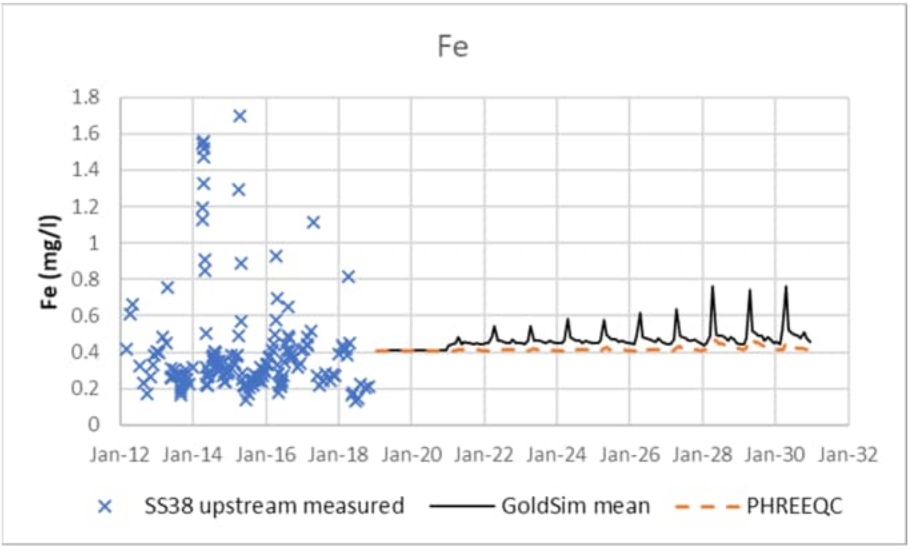


Figur 18: Zinkkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 100 % blandning för basfallsscenariot.

Förutspådda järnkoncentrationer för 5 % blandning (Figur 19) ökar från 0.4 mg/L (vilket är medelbakgrundsvärdet uppström utloppet vid SS38) till 6,5 mg/L för den odämpade GoldSim-simuleringen och upp till 1,8 mg/L i PHREEQC som tar hänsyn till utfällning av ferrihydrit. För 100 % blandning (Figur 20) stiger toppkoncentrationen till 0,8 mg/L i GoldSim och enbart 0,5 mg/L i PHREEQC.

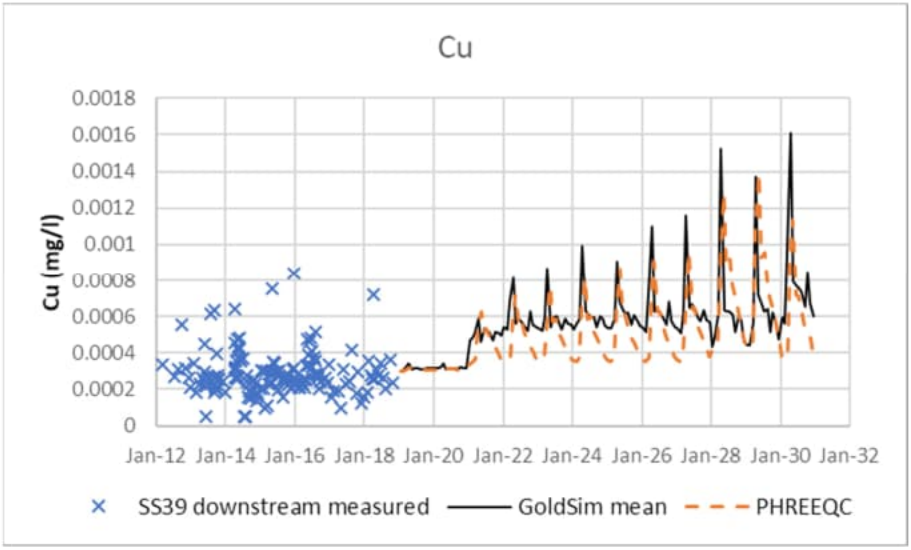


Figur 19: Järnkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 5% blandning för basfallsscenariot.

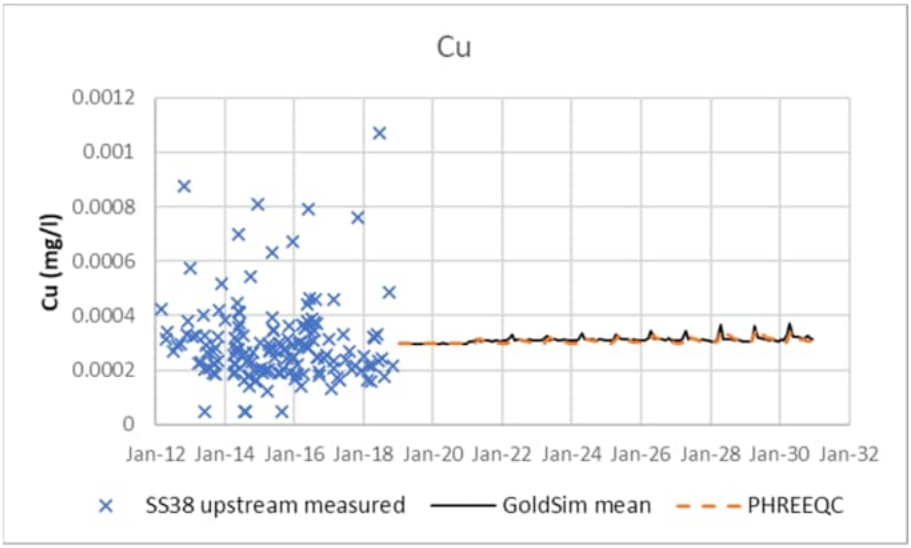


Figur 20: Järnkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 100% blandning för basfallsscenariot.

Kopparkoncentrationen vid 5 % blandning simuleras av både GoldSim och PHREEQC (Figur 21) till halter runt 0,0003 mg/L under 2019 – 2020, i likhet med historiska medelvärden uppströms utloppet i SS38. Från 2020 och framåt ökar kopparkoncentrationen gradvis men toppar under vårens snösmältning runt 0,0016 mg/L i GoldSim och 0,0014 mg/L i PHREEQC. Dessa värden representerar de lösta koncentrationerna och inte den biotillgängliga kopparhalten som förväntas vara mycket lägre. För 100 % blandning (Figur 22) ökar kopparhalten marginellt över bakgrundskoncentrationerna, med 0,00037 mg/L i GoldSim och 0,00035 mg/L i PHREEQC.



Figur 21: Kopparkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagande 5 % blandning för basfallsscenariot



Figur 22: Kopparkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagande 100% blandning för basfallsscenariot.

4.1.4 Miljökvalitetsnormer i Muonio älv

4.1.4.1 Utsläpp av gruvvatten

En jämförelse mellan den statistiska vattenkvalitén i gruvans utsläpp, i Muonio älv efter 5 % respektive 100 % blandning mot HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer (EQS) gränsvärden redovisas i Tabell 11. Statistiken har beräknats utifrån GoldSims resultat om de inte korresponderar till resultat från PHREEQC (pH, alkalinitet, Cr, Cu, Fe, U, Zn, K och Na). För varje vattentyp redovisas tre statistiska beräkningar: a) medelvärdet (aritmetiskt medel) simulerat under hela den operativa fasen, b) the högsta medelvärdet under ett kalenderår och c) den maximala simulerade koncentrationen under den operativa fasen. Gällande överskridande av HVMFS 2013:19 EQS-gränsvärden, om årsmedelvärdet för EQS överskrids är halten markerat som en röd cell och om maxkoncentrationen enligt EQS överskrids är texten kursiverad och fetmarkerade.

I det ospädda vattnet som släpps från gruvan överskrider det simulerade medelvärdet och årliga maxkoncentrationen av As det uppsatta miljökvalitetsnormerna för årsmedelvärde. En liknande situation observeras för Cr, Cu, U och Zn, där de simulerade medelkoncentrationerna och årliga maxkoncentrationerna överskrider det tillåtna årsmedelvärdet enligt miljökvalitetsnormerna. För zink och koppar gäller endast miljökvalitetsnormerna för den biotillgängliga halten medan GoldSim-modellen simulerar de lösta koncentrationerna av metallerna.

För uran överskrider den högsta simulerade koncentrationen i gruvans utsläppsvatten den tillåtna maxkoncentrationen enligt miljökvalitetsnormerna HVMFS 2013:19.

Resultatet från PHREEQC för Cu, Fe, U och Zn är generellt lägre än resultatet från GoldSim, men ger liknande bedömningar om potentiella problem att efterfölja miljökvalitetsnormerna.

Alla övriga parametrar i det outspädda gruvvattnet efterföljer de uppsatta miljökvalitetsnormerna enligt HVMFS 2013:19. Däremot finns det inget gränsvärden för pH enligt HVMFS 2013:19 gränsvärden. Vanligtvis i Sverige anses ett pH-intervall mellan pH 6 till pH 8 - pH 9 accepterat ur ett regulatoriskt perspektiv. I och med detta kan de surare pH-värden i utsläppet av gruvvatten innan blandning med Muonioälven potentiellt bli problematisk.

4.1.4.2 Efter blandning med 5 % av Muonio älvs flöde

Vid 5 % blandning, som förväntas representera förhållanden vid övervakningspunkt SS39, sjunker de simulerade värde avsevärt på grund av spädning. Emellertid ligger Cu, U och Zn uppvisar fortfarande halter över miljökvalitetsnormernas årsmedelvärde vid 5 % blandning i GoldSims och PHREEQC:s modelleringar. Uran fortsätter att överskrida HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnorms gränsvärde för maxkoncentration i Goldsim, men inte i PHREEQC.

4.1.4.3 Efter blandning med 100 % av Muonio älvs flöde

Vid 100 % blandning med älven, med andra ord längre nedström, i basfallsscenariot faller samtliga simulerade parametrar under HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnorm i både GoldSims och PHREEQC:s beräkningar. Med ett undantag för uran i GoldSim, där koncentrationen U marginellt överskrider gränsvärdena för årsmedel och maxkoncentration. Den maximala koncentrationen i Tabell 11 är den högsta simulerade koncentrationen när som helt under någon av de 1000 Monte Carlo realisationerna. I den 95-percentilen överskrider inte uranhalten 0,00068 mg/L, med andra ord i minst 95 % av Monte Carlo realisationerna underskrider den maximala uranhalten 0,00068 mg/L och är därmed inom det tillåtna intervallet, uppsatt av HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer, för maxkoncentrationen.

Tabell 11: Statistik för vattenkvalitet i basfallsscenariot i utsläppet av gruvvatten, efter 5 % blandning och 100 % blandning i Muonio älv i jämförelse med HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormers gränsvärden.

		Miljökvalitetsnormer (HVMFS 2013:19)		Utsläppt gruvvatten			5% blandning i Muonio älv			100% blandning i Muonio älv		
Parameter	Enhet	Årsmedel-konc.	***Maximal konc.***	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum
pH (PHREEQC)	-			4,92	7,98	8,2	6,41	6,84	6,89	6,82	6,85	6,86
Alkalinitet (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	0,005	0,0099	0,00014	0,0002	0,00708	0,00005	0,00005	0,00216
As (PHREEQC)	mg/l	0,0005	0,0079	0,0017	0,0043	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 55	0,000004 97	0,00006 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	0,032	0,058	0,00074	0,00112	0,04197	0,00025	0,00027	0,01071
Cr (PHREEQC)	mg/l	0,0034		0,013	0,031	0,035	0,00064	0,00103	0,00202	0,00024	0,00026	0,00032
Cu	mg/l	0,0005*		0,009	0,016	0,03	0,00057	0,00076	0,02207	0,00031	0,00032	0,00668
Cu (PHREEQC)	mg/l	0,0005*		0,007	0,016	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

		Miljökvalitetsnormer (HVMFS 2013:19)		Utsläppt gruvvatten			5% blandning i Muonio älv			100% blandning i Muonio älv		
Parameter	Enhet	Årsmedel-konc.	***Maximal konc.***	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum
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)	mg/l			27,72	30,81	62,5	1,34	1,53	1,96	0,67	0,68	0,7
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)	mg/l			44,73	55,46	93,4	2,57	2,83	4,2	1,47	1,48	1,56
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

*: biotillgängligt

4.2 Behandlingsscenariot

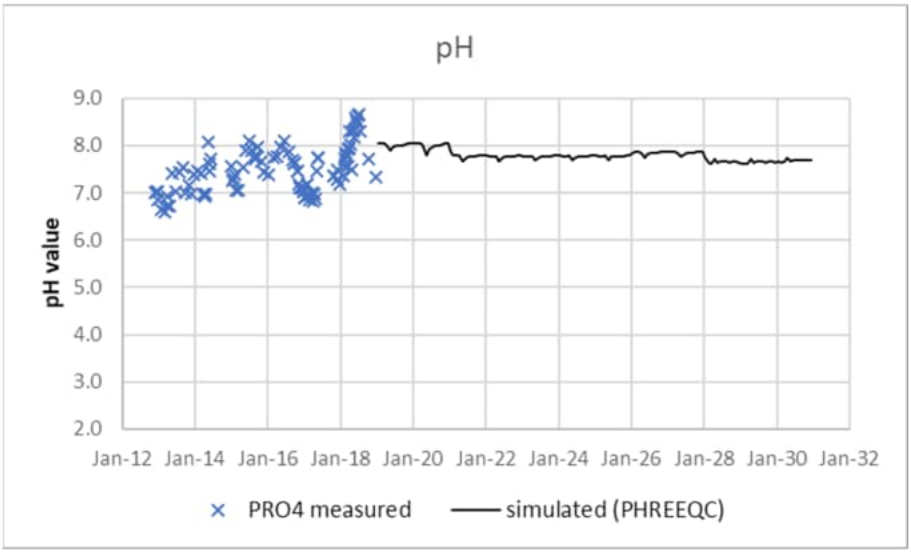
I behandlingsscenariot renas länshållningsvatten från Sahavaara dagbrott och dränagevatten från PAF-gråberg genom alkaliskdosering till pH 10,5 (eventuellt kombinerat med järnsulfat) och sedimentering innan det pumpas vidare till processvattenmagasinet, som beskrivits i avsnitt 3.6.

4.2.1 Vattenkvaliténs utveckling i klarningsmagasinet

I och med att behandlat vatten från Sahavaara tillförs processvattenmagasinet kommer vattenkvalitén i klarningsmagasinet under behandlingsscenariot vara likställd med den under basfallsscenariot.

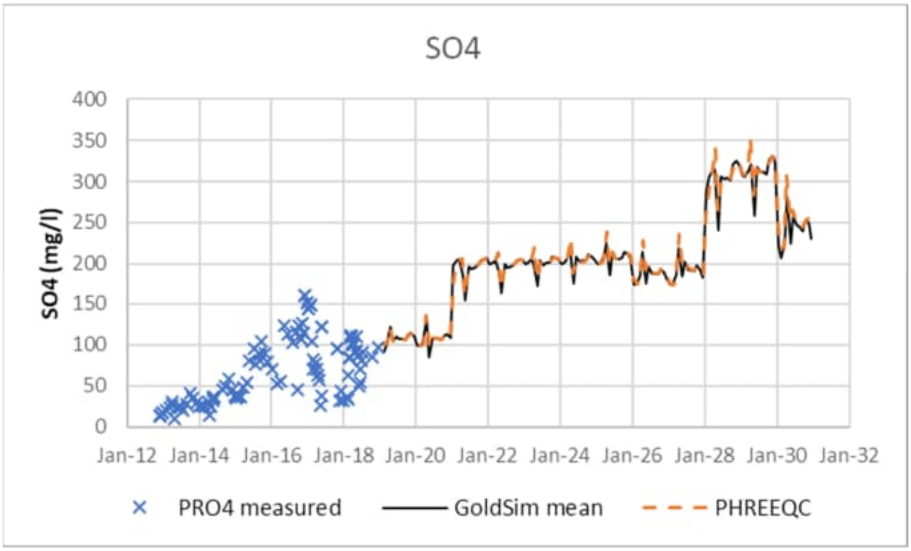
4.2.2 Vattenkvaliténs utveckling i processvattenmagasinet

Den, av PHREEQC, simulerade utvecklingen av pH i processvattenmagasinet med behandling av kontaktvattnet i Sahavaara och PAF WRF redovisas i Figur 23 där det jämförs med historiskt uppmätta pH-värden i övervakningspunkt PRO4. Vattenkvalitén är märkbart förbättrad i jämförelse med basfallsscenariot. Under 2019 och 2020, när enbart Tapuli är aktiv, fluktuerar det simulerade pH-värdet runt pH 8, i likhet med uppmätta värden och basfallsscenariot eftersom behandlingen inte påverkar Tapulis kontaktvatten. Från 2021 och framåt, när det behandlade Sahavaara-vattnet tillkommer systemet, sjunker pH marginellt till värden runt pH 7.8. Från 2028 och framåt, när Tapuli är avslutad och endast Sahavaara och Palotieva är operativa, kan ytterligare en sänkning av pH noter till värden runt pH 7.6.



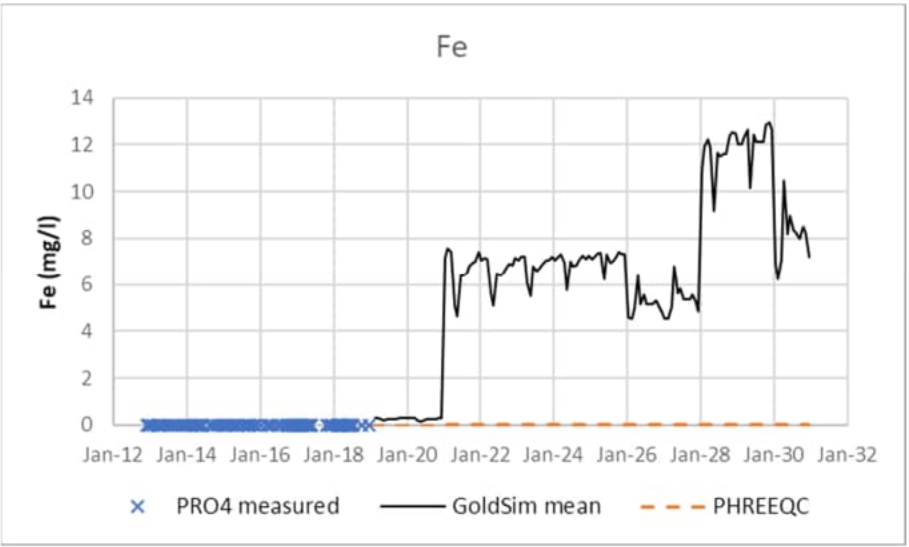
Figur 23: Utvecklingen av pH-värdet i processvattenmagasinet för behandlingsscenariot.

Den simulerade utvecklingen av sulfatkoncentrationen i processvattenmagasinet, tillsammans med tillgänglig data från övervakningspunkt PRO4, redovisas i Figur 24. Mellan 2019 – 2020, förutspås av GoldSim och PHREEQC att sulfatkoncentrationen kommer att fluktuera runt 100 mg/L, i likhet med utfallet för basfallsscenariot. Mellan 2019 och 2028, när Sahavaara verksamhet startar, förväntas koncentrationen öka till värden runt 200 mg/L, mycket lägre än basfallsscenariot. Från 2028 och framåt, när Tapulis verksamhet upphört och enbart Sahavaara och Palotieva är aktiva, förväntas koncentrationerna stiga till 350 mg/L under behandlingsscenariot, mycket lägre än den halt som simulerades för basfallsscenariot runt 820 mg/L.



Figur 24: Sulfatkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för behandlingsscenariot.

Järnkoncentrationerna redovisas i Figur 25. Mellan 2019 – 2020 är simuleringarna med GoldSim och PHREEQC mycket lika simuleringarna för basfallsscenariot och data från övervakningspunkt PRO6 med järnkoncentrationer under 0.4 mg/L. Från 2021 och framåt, när behandlat vatten från Sahavaara tillkommer processvattenmagasinet, ökar järnhalten mycket minder än vid basfallsscenariot. Den odämpade GoldSim-simuleringen förutspår koncentrationer mellan 4.5 och 7.6 mg/L från 2021 till 2027 och 13 mg/l från 2028 till 2030 (i basfallsimulering i GoldSim förutsåg halter uppemot 125 mg/L). PHREEQC förutspår mycket låga järnkoncentrationer runt 0,0001 mg/L för hela gruvans livstid, då lösligheten kontrolleras av ferrihydrit vid det pH mycket nära neutralt i processvattenmagasinet under behandlingsscenariot.

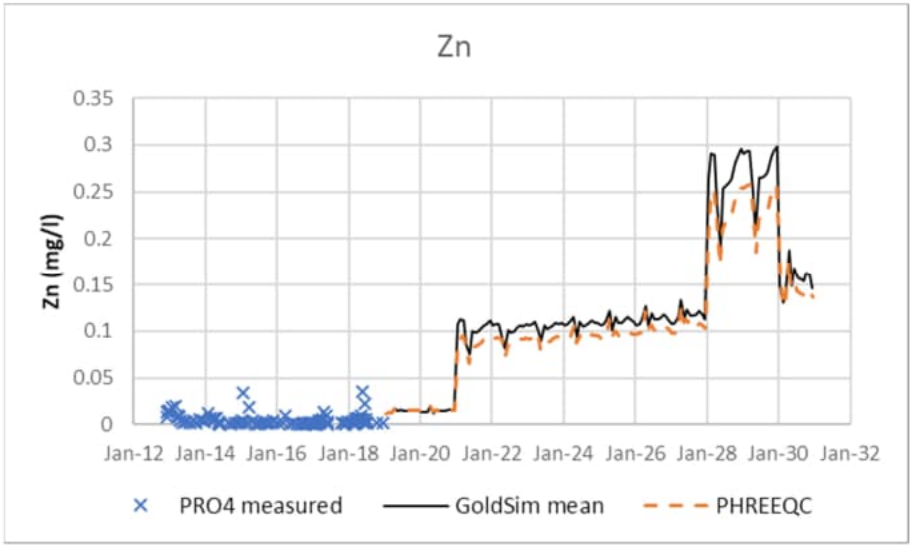


Figur 25: Järnkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för behandlingsscenariot.

Zinkkoncentrationen redovisas i Figur 26. Under 2019 till 2020 är de simulerade zinkhalterna från GoldSim och PHREEQC lika de halter som simulerades för basfallsscenariot samt de nyligt genomförda mätningarna med en koncentration runt 0,015 mg/L. Från 2020 och framåt, när Sahavaaras gruva är aktiv, ökar zinkhalten till

rung0.1 mg/L och när Palotievas gruva tillkommer under 2029 anses en ökning till 0.3 mg/L vara förväntat. Dessa halter hela den lösta koncentrationen och inte biotillgängligt som förväntas vara av mycket lägre halt.

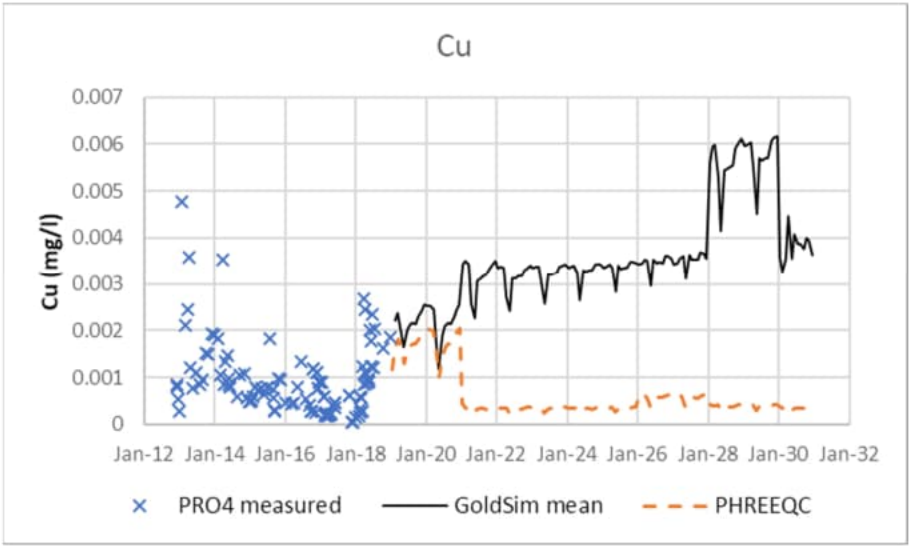
Zinkkoncentrationen simulerad av PHREEQC är lite lägre än de värden som simulerats fram av GoldSim på grund av ökad sorption av zink till ferrihydrit vid neutralt pH i processvattenmagasinet.



Figur 26: Zinkkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för behandlingsscenariot.

Kopparkoncentrationens utveckling under behandlingsscenariot redovisas i Figur 27. Från 2019 fram till 2020 förutspår GoldSim och PHREEQC igen koncentrationer runt 0,002 mg/L, i likhet med basfallsscenariot. I GoldSim, mellan 2020 – 2027, ökar kopparkoncentrationen till 0,0035 mg/L och mellan 2028 – 2030 upp till 0,006 mg/L. Detta är mycket lägre än de simulerade halterna under basfallsscenariot, där halter upp till 0.32 mg/L simulerades.

PHREEQC förutspår lägre koncentrationer än GoldSim främst på grund av sorption till ferrihydrit vid neutrala pH-värden. Mellan 2019 – 2020 fluktuerar kopparkoncentrationen mellan 0,001 and 0,002 mg/L. Från 2021 och framåt visar simuleringen av kopparkoncentrationen i processvattenmagasinet av PHREEQC en minskning till 0,0007 mg/L, eftersom en högre halt ferrihydrit fäller ut i processvattenmagasinet vilket ger en signifikant ökning i antal tillgängliga sorptionsplatser.

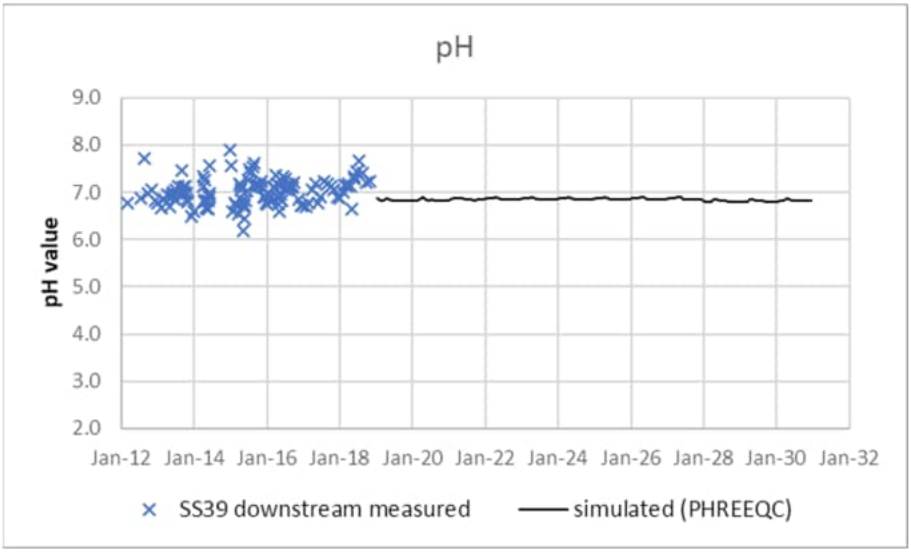


Figur 27: Kopparkoncentrationens utveckling i processvattenmagasinet för behandlingsscenariot.

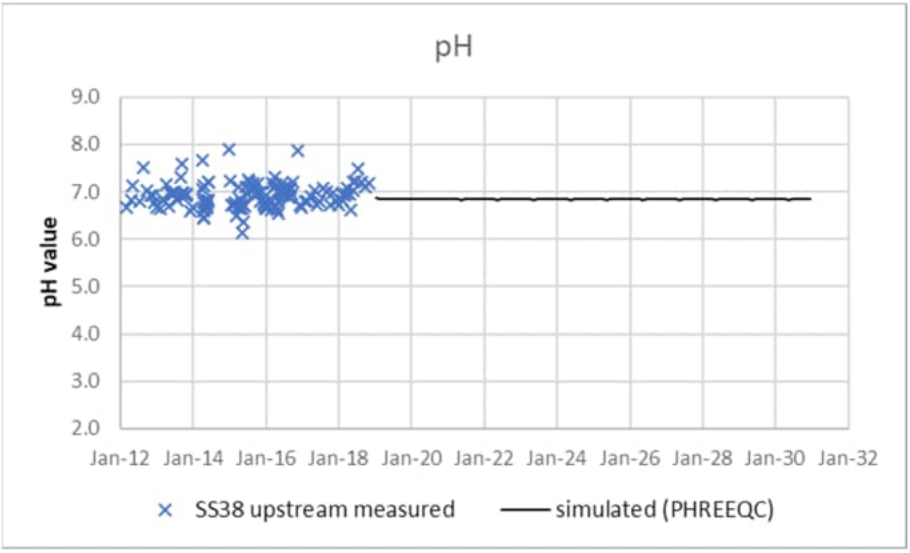
4.2.3 Vattenkvaliténs utveckling i Muonio älv under behandlingsscenariot

Det, av PHREEQC, simulerade pH-värdet för 5 % blandning i Muonio älv under behandlingsscenariot redovisas i Figur 28, tillsammans med uppmätta värden vid övervakningspunkt SS39. Under gruvans livslängd oscillerar det simulerade pH-värdet mellan pH 6.8 och pH 6.9, i likhet med det medelvärde på pH som uppmätts i SS39.

Vid 100 % blandning i älven, redovisas i Figur 29, är påverkan från det behandlade utsläppsvattnet på Muonioälvens vatten nästan obefintligt. Det simulerade pH-värdet ligger när pH 6.8 under hela den operativa fasen, ett värde mycket när medelvärdet av de uppmätta vattenkvalitetsvärdena i övervakningspunkten uppströms utloppet, SS38.

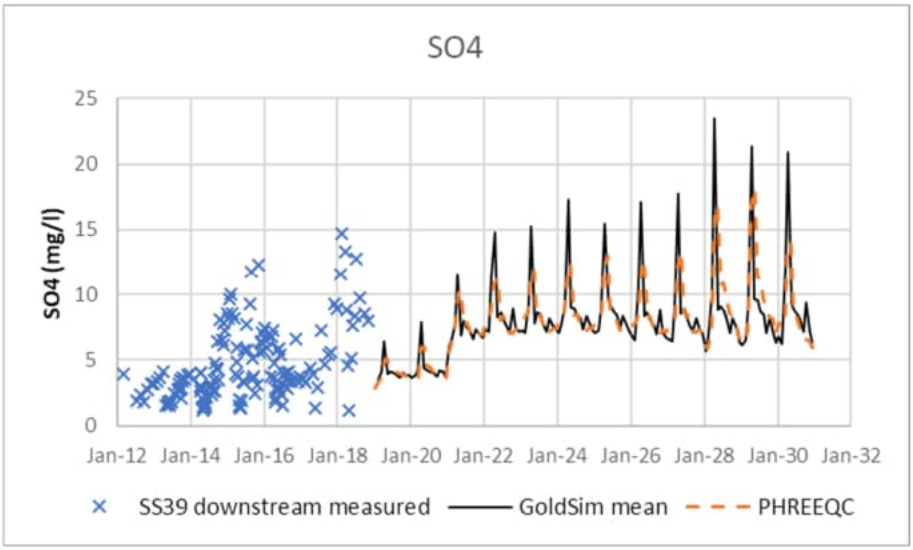


Figur 28: Utvecklingen av pH-värdet i Muonio älv med antagande 5% blandning för behandlingsscenariot.

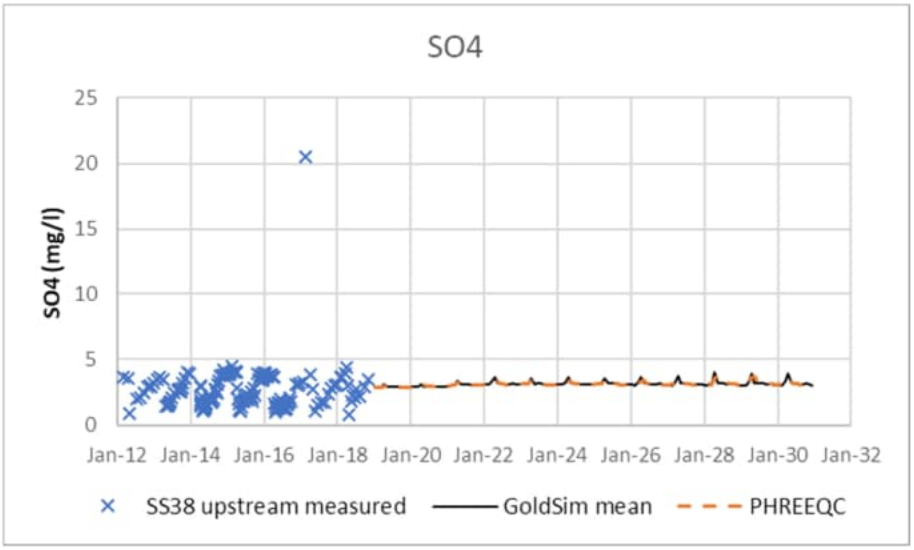


Figur 29: Utvecklingen av pH-värdet i Muonio älv med antagandet 100 % blandning för behandlingsscenariot.

Den simulerade sulfatkoncentrationen i älven vid 5 % och 100 % blandning visas i Figur 30 och Figur 31. Vid 5 % blandning visas en mycket mindre koncentrationsökning under gruvans livslängd än under basfallsscenariot, med toppkoncentrationer runt 25 mg/L. Vid 100 % blandning är effekten från gruvans utsläpp på sulfatkoncentrationen i älven marginell, med en maximal koncentration runt 4 mg/L. I likhet med det som mätts uppströms om utloppet vid övervakningspunkt SS38.

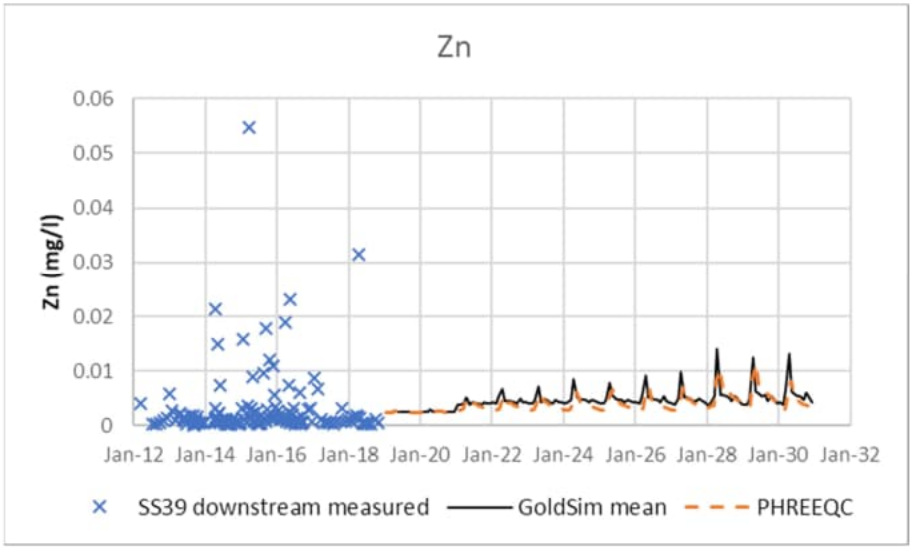


Figur 30: Sulfatkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 5 % blandning för behandlingsscenariot.

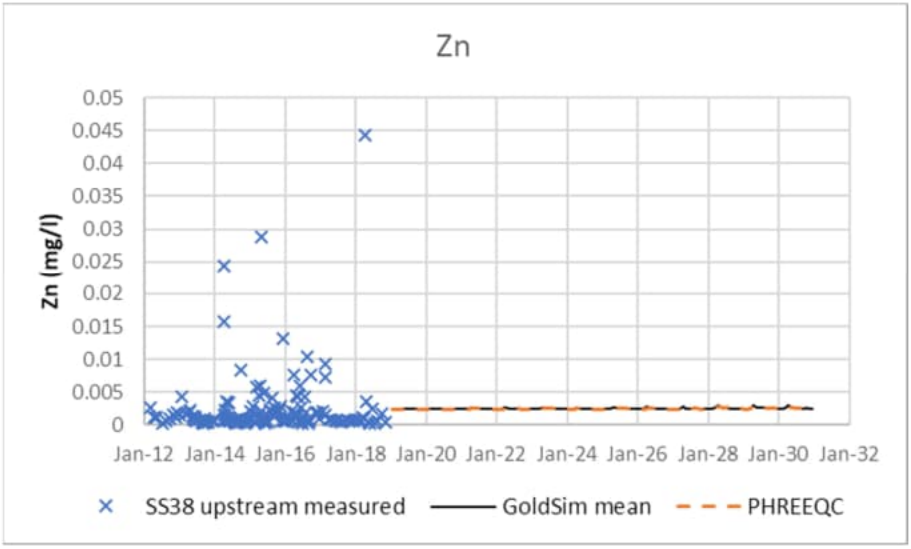


Figur 31: Sulfatkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagandet 100 % blandning för behandlingsscenariot.

Ett liknande resultat simulerades för zinkkoncentrationen (Figur 32 och Figur 33). För 5 % blandning ökar zinkhalten gradvis under den operative fasen med toppar runt 0,015 mg/L. För 100 % blandning är, igen, utsläppsvattnets påverkan på zinkkoncentrationen knappt märkbar men mediekoncentrationerna runt 0,003 mg/L, förutspått av både GoldSim och PHREEQC.



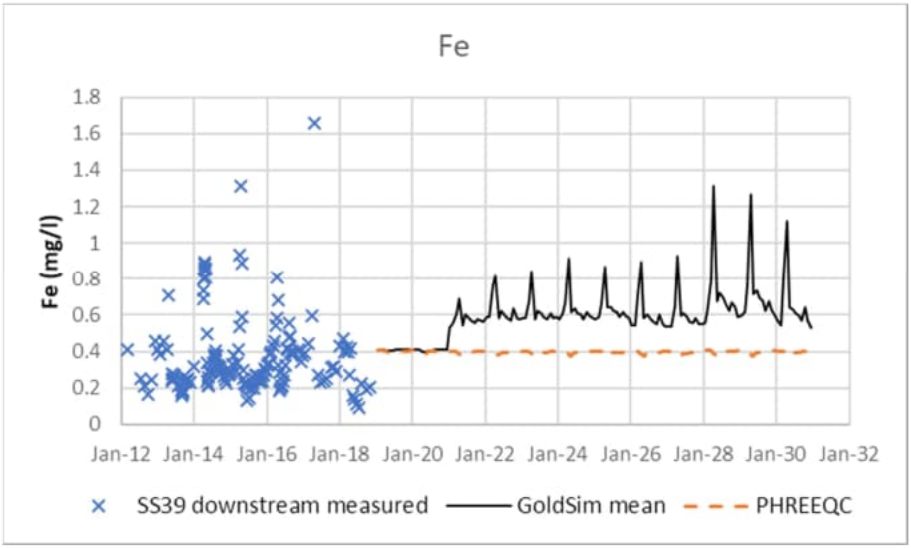
Figur 32: Zinkkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagande 5 % blandning i behandlingsscenariot.



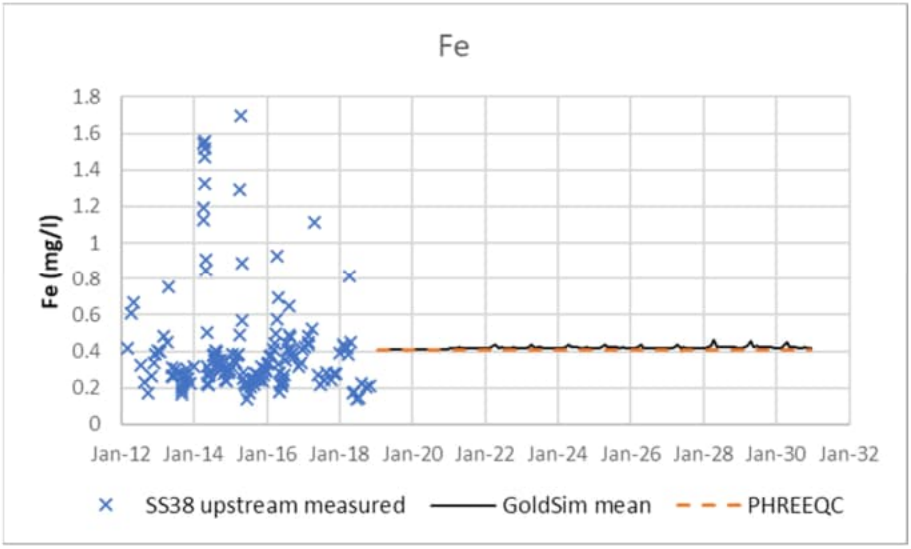
Figur 33: Zinkkoncentrationens utveckling i Muonio älv med antagande 100 % blandning för behandlingsscenariot.

Simulerade järnkoncentrationer för 5 % blandning (Figur 34) är mycket lägre för behandlingsscenariot än basfallsscenariot. Den högsta järnkoncentrationen i den odämpade GoldSim simuleringen förblir under 1.4 mg/L (till skillnad från 6.5 mg/L under basfallsscenariot). I PHREEQC förblir järnkoncentrationen när 0.4 mg/L, vilket är bakgrundskoncentrationen vid övervakningspunkten uppströms utloppet (SS38) eftersom lösligheten kontrolleras av ferrihydrit i klarningsmagasinet och processvattenmagasinet har renat vattnet från järn innan vattnet når älven.

För 100 % blandning (Figur 35) simulerar både GoldSim och PHREEQC koncentrationerna mycket nära bakgrundsvärdena på 0.4 mg/L i Muonio älv.

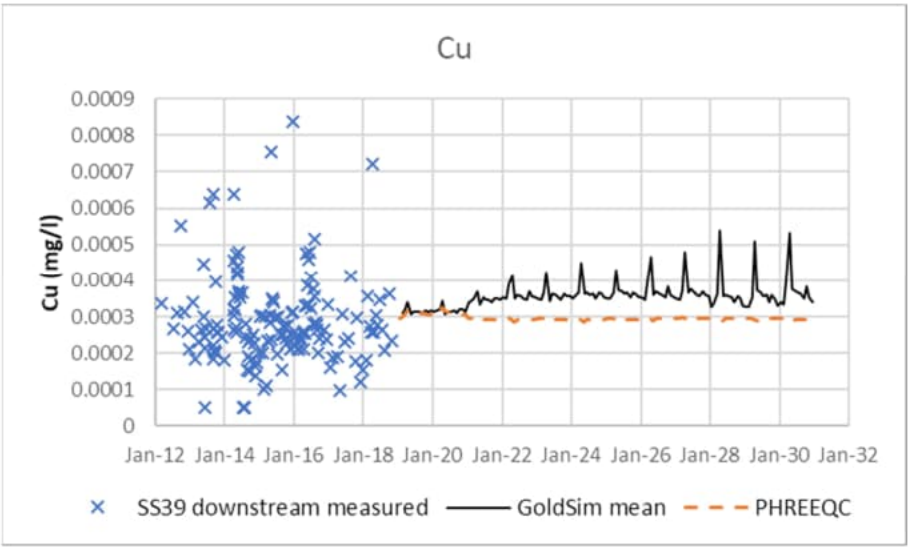


Figur 34: Järnkoncentrationens utveckling i Muonio älv under antagande 5 % blandning för behandlingsscenariot.

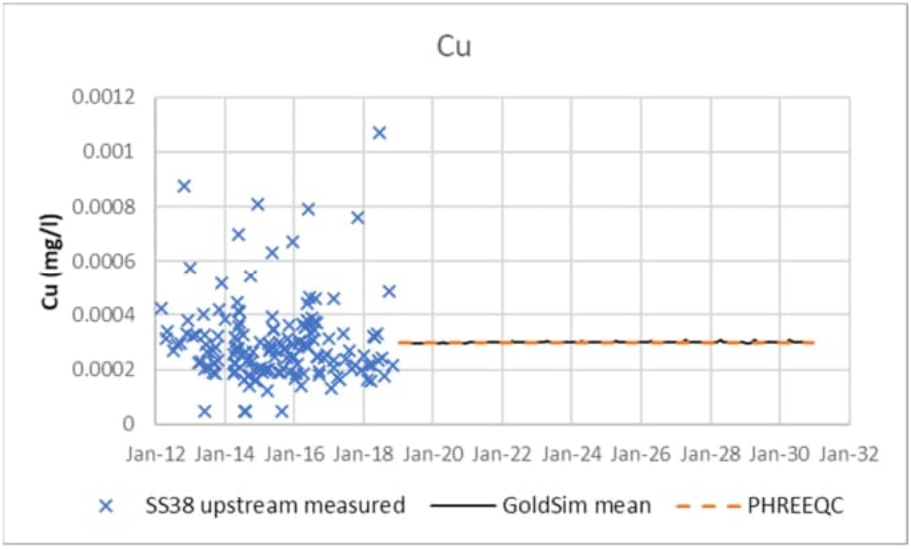


Figur 35: Järnkoncentrationens utveckling i Muonio älv under antagande 100 % blandning för behandlingsscenariot.

Kopparkoncentrationen vid 5 % blandning simulerat av både GoldSim och PHREEQC (Figur 36) ligger nära 0,0003 mg/L under 2019 – 2020 i likhet med tidigare uppmätta värden uppström (SS38). Från 2020 och framåt ökar kopparhalten en aning i GoldSims simulering med toppar under vårsmältningen runt 0,0006 mg/L. I PHREEQC fortsätter kopparhalten ligga nära bakgrundskoncentrationerna på 0,0003 mg/L under hela gruvans livslängd. Dessa värden representera lösta koncentrationer och inte det som är biotillgängligt vilket förväntas vara mycket lägre. För 100 % blandning (Figur 37) fortsätter kopparhalten ligga nära bakgrundshalten under hela gruvans livslängd, både i GoldSim och i PHREEQC.



Figur 36: Kopparkoncentrationen i Muonio älv under antagande 5 % blandning för behandlingsscenariot.



Figur 37: Kopparkoncentrationens utveckling i Muonio älv under antagande 100 % blandning för behandlingsscenariot.

4.2.4 Miljökvalitetsnormer i Muonio älv

4.2.4.1 Utsläpp av gruvvatten

I Tabell 12 jämförs de statistiskt framtagna vattenkvalitéerna i behandlingsscenariot för utsläppsvattnet, älvvattnet efter 5 % blandning och efter 100 % blandning med HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer (EQS) gränsvärden

De statistiskt framtagna värden har beräknat från GoldSims resultat, om inte de inte korresponderar till resultat från PHREEQC (pH, alkalinitet, Cr, Cu, Fe, U, Zn, K och Na). För varje vattentyp redovisas tre statistiska beräkningar: a) medelvärdet (aritmetiskt medel) simulerat under hela den operativa fasen, b) the högsta medelvärdet under ett kalenderår och c) den maximala simulerade koncentrationen under den operativa fasen. Gällande överskridande av HVMFS 2013:19 EQS-gränsvärden, om årsmedelvärdet för EQS överskrids är halten markerat som en röd cell och om maxkoncentrationen enligt EQS överskrids är texten kursiverad och fetmarkerade.

I det ospädda utsläppet av gruvvattnet, för behandlingsscenariot simuleras medelvärden och maxårsmedel av As som överskrider årsmedel i miljökvalitetsnormen i GoldSims beräkning men inte i beräkningen enligt PHREEQC. Arsenik binder starkt till ferrihydrit, vilket kommer att fällas ut under behandlingsscenariot, i och med anses det inte troligt att arsenikhalten kommer att överskrida riktvärdena.

Medelvärdena och maxårsmedel för Cr, Cu, U och Zn överskrider fortfarande miljökvalitetsnormerna i både GoldSims och PHREEQC:s beräkningar i behandlingsscenariot, men de förutspådda värden är mycket mindre än de som simuleras för basfallsscenariot.

Notera att HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer för Cu och Zn gäller för den biotillgänglig fraktion medan de simulerade halterna representerar de lösta koncentrationerna av metallerna. Den biotillgängliga fraktionen koppar och zink förväntas vara mycket lägre än de värden som ges i Tabell 12.

För uran överskrider den simulerade maxkoncentrationen i utsläppsvattnet under behandlingsscenariot HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer för maxkoncentration,

Inga miljökvalitetsnormer för pH-värdet återfinns i HVMFS 2013:19. Vanligtvis i Sverige anses ett pH-intervall mellan pH6 och pH8 – pH9 acceptabelt ur ett regulatoriskt perspektiv. I och med detta anses de nästan neutrala, svagt sura pH-värden i utsläppsvattnet i behandlingsscenariot (mellan pH 7.5 och pH 8.2) vara inom det accepterade intervallet.

4.2.4.2 Efter blandning med 5 % av Muonio älvs flöde

Vid 5 % blandning, vilket förväntas representera förhållanden vid övervakningspunkt SS39, sker en betydande sänkning av de simulerade parametrarna på grund av spädning. Värdet på pH förväntas ligga mycket nära neutralt (nära pH 6.9). Under behandlingsscenariot är det endast U och Zn som visar marginellt överskridande halter för årsmedel vid 5 % blandning i GoldSims och PHREEQC:s beräkningar. Uran fortsätter att överskrida HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer för maxkoncentrationer i GoldSim, men inte i PHREEQC.

4.2.4.3 Efter blandning med 100 % av Muonio älvs flöde

Vid 100 % blandning med älven, med andra ord längre nedströms, för behandlingsscenariot är samtliga simulerade parametrar underskridande av HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer i både GoldSim och PHREEQC. Med undantag för uran i GoldSim, där uranhalten marginellt överskrider gränsvärdena för maximal koncentration. Notera att det maximala värdet i Tabell 12 är den högsta urankoncentrationen när som helst under någon av de 1000 Monte Carlo realisationerna. Vid den 95-percentilen överskrider inte uranhalten 0,00045 mg/L, med andra ord ligger minst 95 % av Monte Carlo realisationerna under 0,0045 mg/L och med marginal inom det godkända intervall för miljökvalitetsnormens maxkoncentration. Under behandlingsscenariot är det därmed troligt att vid 100 % blandning med älvvattnets flöde kommer halterna underskrida HVMFS 2013:19 riktvärden.

Tabell 12: Statistik för vattenkvalitet i behandlingsscenariot i utsläppet av gruvvatten, efter 5 % blandning och 100 % blandning i Muonio älv i jämförelse med HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormers gränsvärden.

		Miljökvalitetsnormer (HVMFS 2013:19)		Utsläppt gruvvatten				5% blandning i Muonio älv			100% blandning i Muonio älv		
Parameter	Enhet	Årsmedel konc.	***Maxkonc.***	Övergrip. medel	Högsta årsmedel		Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum
pH (PHREEQC)	-				7.82	7.98	8.20	6.84	6.87	6.91	6.85	6.85	6.86
Alkalinitet (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

		Miljökvalitetsnormer (HVMFS 2013:19)		Utsläppt gruvvatten			5% blandning i Muonio älv			100% blandning i Muonio älv		
Parameter	Enhet	Årsmedel konc.	***Maxkonc.***	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum	Övergrip. medel	Högsta årsmedel	Övergrip. maximum
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
Zn	mg/l	0.0055*			0.071	0.131	0.277	0.0046	0.0057	0.2035	0.0025	0.0026	0.0535
Zn (PHREEQC)	mg/l	0.0055*			0.051	0.133	0.150	0.0040	0.0060	0.0112	0.0025	0.0026	0.0029

*: biotillgänligt

5.0 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER FÖR FRAMTIDA ARBETEN

En probabilistisk transportmodell för lösta ämnen har utvecklats som stöd för Tapuli Kaunis Iron Ore vattenhanteringsprojekt. Syftet med modellen är att simulera vattenkvaliténs utveckling i de huvudsakliga vattenförvaringarna (främst processvattenmagasinet och klarningsmagasinet) och utsläppsvattnet till Muonio älv under gruvans operativa period. Två scenarion har simulerats, en utan någon vattenbehandling eller avfallsseparerande åtgärder (basfallsscenariot) och ett där kontaktvattnet från Sahavaaras gruva och PAF WRF har behandlats med alkalisk dosering till pH 10.5 och sedimentering innan utsläpp till processvattenmagasinet (behandlingsscenariot).

Geokemiska källtermer (belastning av lösta ämnen från gruvor, gråbergsuppalg, processanläggning och sandmagasinet m.m.) för den nuvarande modellen härledes från tillgängliga tidigare studier (speciellt Northland, 2014 och SRK, 2014) samt övervakningsdata. Vid denna tidpunkt är källtermerna konstanta och representerar en bred estimering för kontaktvattnets kvalité från gruvans infrastruktur vid gruvverksamhetens avslut. Detta är en signifikant förenkling som reflekterar nuvarande tillgängliga data och kunskap om det modellerade systemet, efter att koncentrationerna lösta ämnen i kontaktvatten i verkligheten tenderar att öka under gruvans livslängd i samband med att gråbergsupplag, dagbrott m.m. växer. De antagna värdena representerar de högsta halterna under gruvans livslängd, vilket kan leda till en överestimering under gruvans tidiga operativa fas.

Den probabilistiska vattenbalanden och konservativa transporten av lösta ämnen har simulerat med GoldSim (baserat på 1000 Monte Carlo realisationer), samtidigt som en parallell termodynamisk blandningsmodell byggdes upp i PHREEQC för att simulera pH och alkalinitet i vattnet samt mineralutfällning och sorptionsreaktioner med hög exakthet.

5.1 Basfallsscenariot

Vatten kvalitetsresultatet från basfallsscenariot mellan 2019 – 2020 i processvattenmagasinet, klarningsmagasinet and utsläppsvattnet simulerades av både GoldSim och PHREEQC är mycket lika nyligt uppmätt övervakningsdata och fungerar som en modell- och parametervalidering. Under denna period är endast Tapuli dagbrott, Tapuli gråbergsupplag, sandmagasinet och enbart anrikning med magnetavskiljning i drift vilket ger svagt alkaliskt vatten med låga koncentrationer lösta ämnen till systemet.

Från 2021 och framåt, när Sahavaara dagbrott, gråbergsupplag och flotationskrets startar, är en förändring i vattenkvalitén förväntad, med mycket lägre pH-värden och högre koncentrationer lösta ämnen på grund av den högre hälften sulfid och halt spårmetaller i Sahavaaras malm.

Under 2028 är Tapuli dagbrott avslutad och enbart Sahavaara och Palotieva aktiva med konsekvensen att en ökning av koncentrationerna lösta ämnen mellan 2028 – 2030 samt en minskning av pH i processvattenmagasinet, klarningsmagasinet och utsläppsvattnet att förvänta, eftersom det alkaliska vattnet från Tapuli försvinner från systemet.

När det gäller överskridande av HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer i utsläppsvattnet och i Muonioälvens vatten simulerat att det ospädda utsläppsvattnet indikerat potentiella överskridande halter på årsmedelbasis för As, Cr, Cu, U och Zn. För U överskrider även den simulerade maxkoncentrationen det gränsvärde för maxkoncentrationen som är uppsatt enligt miljökvalitetsnormerna.

Vid 5 % blandning med Muonio älvs vatten, som förväntas representera förhållanden vid övervakningspunkt SS39, simulerar endast Cu, U och Zn medel- och/eller maxhalter som överskrider miljökvalitetsnormerna.

Vid 100 % blandning med älvvattnet, med andra ord längre nedström, underskrider samtliga simulerade parametrar HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer.

5.2 Behandlingsscenariot

Under behandlingsscenariot, där kontaktvattnet från Sahavaaras gruva och PAF WRF behandlas med alkalisk dosering till pH 10.5 och sedimentering innan utsläpp till processvattenmagasinet, förbättras vattenkvalitén i processvattenmagasinet avsevärt. Simulerade pH-värden förblir neutral, halterna spårmetaller och sulfat är mycket lägre än basfallsscenariot.

I det ospädda vattnet som släpps ut under behandlingsscenariot överskrider fortfarande Cr, Cu, U och Zn HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer i både GoldSim och PHREEQC, med de förutspådda halterna är mycket lägre än de för basfallsscenariot. För Cu och Zn gäller miljökvalitetsnormerna för den biotillgängliga andelen enbart, medan simuleringen representerat den totalt lösta koncentrationen för metallerna. De biotillgängliga koncentrationerna för Cu och Zn förväntas vara mycket lägre än de värden som beräknats av modellerna.

Vid 5 % blandning med Muonio älvs vatten, representeras förhållanden som stämmer överens med de vid övervakningspunkt SS39, förväntas pH-värdet i älven under behandlingsscenariot ligga runt neutrala värden (runt pH 6.9). Endast U och Zn påvisar halter marginellt överskridande gränsvärden för årsmedel vid 5 % blandning i GoldSims och PHREEQC:s beräkningar. Uran fortsätter att överskrida gränsen för maxkoncentration i GoldSim men inte i PHREEQC.

Vid 100 % blandning med älvvattnet, med andra ord längre nedströms, är samtliga simulerade parametrar i behandlingsscenariot under HVMFS 2013:19 gränsvärden i både GoldSim och i PHREEQC. Ett undantag finns för uran, där halten marginellt överskrider gränsvärdet för maxkoncentration. Det beräknade maxvärdet är den högsta simulerade koncentrationen för uran när som helst under någon av de 1000 Monte Carlo realisationerna. Vid den 95-percentilen överskrider inte uran 0,00045 mg/L, alltså är vid minst 95% av Monte Carlo realisationerna den maximala U koncentrationen under 0.00045 mg/L med god marginal inom det godkända intervallet från HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnorm för maxkoncentrationer (0.0086 mg/l). Under behandlingsscenariot är det där med troligt att vid 100 % blandning med älvvattnet kommer samtliga halter underskrida HVMFS 2013:19 miljökvalitetsnormer.

6.0 REFERENCES

Northland (2014), Beräknade halter och belastning recipienter - Avbördning under produktion, dammbrott klarningsmagasin samt efterbehandlade avfallsupplag. Section 4.2 of the 2014 Northland EIA.

SRK (2014): Hydrogeokemisk modellering av syreintrång och utsläpp av lösta ämnen från ett övertäckt gråbergsupplag, Sahavaara, Sverige. Section 7.2 of the 2014 Northland EIA.

Yours sincerely,

Tobias Roetting
Principal Geochemist

Christine Campbell
Principal Water Resources Engineer

TR

c:\users\keriksson\desktop\kaunis\ansökan\bilaga e tb\bilagor\golder uk tapuli transport modelling memo_draft v1.2_svenska 190715.docx