

Datum	2024-10-31	Projektskede	[-E-post, företag]
Status	Godkänd	Infosäkerhetsklass	K1
Rev. beteckning	-	Diarienummer	FUT 2022-0928
Rev. datum	-	Författare	Rasmus Fältmarsch

Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan

Delrapport

2024-10-31

Filnamn:1310-P11-32-00016

Utförare: Rasmus Fältmarsch, Atrax Energi & Miljö AB

Granskad av: Hanna Novakovic, Förvaltning för utbyggd tunnelbana

Godkänd av: Niklas Bergman, Förvaltning för utbyggd tunnelbana

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

1	Förord	3
2	Sammanfattning	5
3	Bakgrund.....	6
4	Syfte	8
5	Avgränsningar och osäkerheter	8
6	Lokalisering av laktest	9
7	Provtagningsstrategi och genomförande	10
7.1	Provtagning bakgrundsparmetrar.....	11
7.2	Provtagning bergmaterial inför laktest	12
7.3	Metodik laktest.....	13
7.4	Uppstart laktest.....	14
7.5	Fältmätning och provtagning lakvatten.....	17
8	Resultat	18
8.1	Bergmaterial.....	18
8.1.1	Bergart	18
8.1.2	Siktförsök.....	18
8.1.3	Totalhalt svavel och kalcium	19
8.1.4	ABA- och NAGpH-test.....	19
8.1.5	TC-3	20
8.2	Lakvatten.....	20
8.2.1	Aluminium.....	21
8.2.2	Kobolt och nickel	23
8.2.3	Mangan	26
8.2.4	Zink.....	27
8.2.5	Sulfat.....	29
8.2.6	Övriga ämnen	31
8.2.7	pH	31
9	Slutsatser.....	33

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

1 Förord

Förvaltning för utbyggd tunnelbana hanterar stora mängder bergmassor från utbyggnaden av tunnelbanan, totalt cirka 16 miljoner ton. I Stockholmsregionen har entreprenadberg hanterats cirkulärt i mer än hundra år – utan att någon negativ miljöpåverkan konstaterats. Behovet av berg är fortsatt stort, cirka 20 miljoner ton varje år. Men de senaste åren har det uppstått en stor utmaning med hantering och användning av bergmassor från infrastrukturprojekt. Det beror på att nya restriktioner gällande svavelhalter i berget har börjat tillämpas av olika aktörer och tillsynsmyndigheter i länet.

Den nya tillämpningen sker utan ny evidens, ny kunskap om negativ miljöpåverkan eller nya riktlinjer från myndigheter. De striktare restriktionerna kopplade till sulfidsvavelhalt (0,1 vikt-%) härrör från utvinningsindustrins avfallsförordning 2013:319¹ som används av gruvindustrin. Gruvindustrin omhändertar betydligt större volymer, i andra krosstorlekar, med längre lagringstider, annan exponering och annat innehåll av ämnen i berget. Innehållet i förordningen är inte applicerbart på hantering och användning av entreprenadberg från anläggnings- och infrastrukturprojekt. Restriktionerna som framgår i förordningen skulle beröra en stor del av bergmassan i Stockholmsregionen.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana är en stor offentlig aktör med fokus på hållbarhetsfrågor. Vi har märkt att osäkerheterna på marknaden på grund av den nya tillämpningen leder till både ökad miljöpåverkan och ökade kostnader. Det beror framför allt på att de strikta restriktionerna leder till långväga transporter. Dessutom uppstår ett behov av att köpa in material från täkter som tar jungfruligt berg i anspråk.

Vi ser att avsaknaden av enhetliga synsätt och regler för provtagning, klassning och hantering öppnar för godtycke och egna tolkningar. Att det finns olika syn på frågan upptäckte även Länsstyrelsen i Stockholms län som därför sammanställt en lägesbeskrivning², för att ensa bilden av var vi står just nu.

Otydligheterna kring kraven gör att aktörer på marknaden för krossprodukter allt oftare tillämpar de nya striktare restriktionerna gällande svavelhalter. Det innebär att i princip allt berg i södra Stockholms län behöver särskild hantering. Enskilda kommuner säger även nej till hantering av sådana massor inom kommunen, vilket redan har lett till att projekt stoppats på grund av för höga kostnader för masshantering.

Förvaltningen menar att försiktighetsprincipen gällande eventuell miljöpåverkan från försurning och metallurlakning från berget måste vägas mot försiktighetsprincipen för bland annat klimatpåverkan, resurseffektivitet och hushållningsprincipen. Dagens situation leder till långa transporter och att mer jungfruligt berg måste brytas i bergtäkter. Det sker inte sällan långt från platsen för användning och påverkar den lokala naturmiljön. Detta sker utan konstaterad negativ

¹ Förordning (2013:319) om utvinningsavfall https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2013319-om-utvinningsavfall_sfs-2013-319/

² Lägesbeskrivning: sulfidförande berg i Stockholms län. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.50513cf41900c5457e776e11/1719997040724/L%C3%A4gesbeskrivning%20sulfidf%C3%B6rande%20berg%20tillg%C3%A4nglig.pdf>

Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

miljöpåverkan från entreprenadberget. Därav behöver en rimlighetsbedömning enligt miljöbalken göras innan beslut kring hanteringen kan tas.

Förvaltningen arbetar aktivt för att minska utsläppen av växthusgaser från framför allt stål, betong och transporter under bygget av tunnelbanan. Men med begränsad möjlighet till cirkulär användning av berget kommer vi att ha svårt att nå de klimatmål vi har satt upp.

Utifrån förvaltningens erfarenheter hittills genererar berg som behöver särskild hantering på grund av svavelinnehåll tio gånger så stora koldioxidutsläpp som berg som kan hanteras lokalt. Detta är framräknat med hjälp av Trafikverkets klimatkalkyl, med faktiska transportsträckor inlagda. Utsläppen och påverkan från inköp och uttag av nya massor och transporten för de massorna är inte inräknade.

Följer man gruvindustrins riktlinjer innebär det att en stor mängd entreprenadberg som tidigare kunde säljas på marknaden för krossprodukter behöver hanteras som avfall. Det betyder i sin tur att reglerna i avfallsförordningen 2020:61 gäller. Det innebär att mottagningsplatserna måste ha tillstånd att ta emot avfallet och att allt avfall måste kunna spåras. Det finns inte många mottagningsplatser med dessa tillstånd i regionen, vilket leder till långa transporter. Transportörerna måste även ha tillstånd för att köra avfall dit. All hantering ska rapporteras till tillsynsmyndigheten, vilket kräver mycket resurser av båda parter. Det tillkommer dessutom deponiavgifter. Allt detta gör det svårt att använda berget på ett resurseffektivt och hållbart sätt.

Vi är ett projekt av många. För hela länet är både kostnader och miljöpåverkan än större.

2022 tog förvaltning för utbyggd tunnelbana därför ett initiativ till ett storskaligt lakttest. Testet finansieras av förvaltningen och genom medel från region Stockholms anslag för hållbar regional tillväxt och skärgårdsutveckling. Det är utformat med verklighetstroga förhållanden och undersöker försurnings- och metallurlakningspotentialen hos entreprenadberg och om det kan leda till miljörisker för omgivningen. Denna rapport presenterar resultatet från första delen av testet, från januari 2023 till och med juni 2024. Förvaltningen har fått ytterligare medel ur anslaget för hållbar regional tillväxt och skärgårdsutveckling, beslutat 2024-04-25 av Klimat- och Regionutvecklingsnämnden, för att kunna försätta testet två år till, alltså till och med juni 2026.

Genom det storskaliga lakttestet vill vi bidra till en mer faktabaserad och balanserad hantering av entreprenadberg i Stockholmsregionen – en hantering som tar hänsyn till både miljörisker och samhällsekonomiska aspekter. Målet är att skapa en grund för tydligare riktlinjer och få till en praxis som minskar osäkerheten på marknaden, optimerar användningen och den cirkulära hanteringen av entreprenadberg i regionen och säkerställer en rimlig balans mellan olika miljö- och samhällsintressen i enlighet med den regionala masshanteringsstrategin³.

Niklas Bergman

Förvaltningschef

Hanna Novakovic

Hållbarhetschef

³Strategi för hantering av massor i Stockholms län <https://catalog.lansstyrelsen.se/store/39/resource/393>

Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

2 Sammanfattning

Inom Stockholmsregionen har cirkulär hantering av entreprenadberg pågått i mer än hundra år utan att någon negativ miljöpåverkan konstaterats. Senaste åren har det dock uppstått frågetecken om oxidation av sulfidmineraler i berg skulle kunna leda till miljöpåverkan likt sulfidjordar.

Syftet med det storskaliga lakttestet, som startade 2023 och planeras pågå till 2026, är att erhålla en fördjupad förståelse och öka kunskaperna kring laknings- och försurningspotentialen hos entreprenadberg och i förlängningen dess potentiella miljöpåverkan. Syftet med det storskaliga testet är delvis också att kunna bedöma hur stor vikt forcerad oxidation vid tillsats av väteperoxid (efterliknar NAGpH-test) har för att skatta materialets laknings- och försurningspotential i förhållande till naturlig/naturligt påskyndad oxidation. Hypotesen är att forcerad/accelererad sulfidoxidation genom tillsats av väteperoxid överskattar materialets laknings- och försurningspotential.

Denna delrapport presenterar resultatet från starten 2023 fram till och med juni 2024, ca 1,5 års provtagning.

I det storskaliga testet används materialfraktioner (0–150 mm) som är vanligt förekommande inom bygg- och anläggningsbranschen. Den dominerande huvudbergarten i de använda bergkrossmassorna utgörs av sedimentådergnejs (Vacka) och är hämtade från förvaltningens projekt Utbyggd depå i Högdalen samt Gullmarsplan. Det storskaliga testet utförs på tunnelberg med fem olika totalsvavelhalter, Batch B-F (0,2, 0,4, 0,7, 1,0 och 1,5 vikt-%) vid Gillingetäkten i Vallentuna. Batch B, som representerar tunnelberg med en totalsvavelhalt på 0,2 vikt-%, motsvarar medianhalten av svavel i sedimentådergnejs i södra Stockholm. För varje Batch utförs fyra lakttester, dessa tester inkluderar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen), påskyndad naturlig oxidation (Tunna 2) och forcerad oxidation med väteperoxid (Tunna 3). Det betyder att det pågår totalt 20 olika lakttester.

Sammanfattningsvis visar de erhållna resultaten från perioden (2023–2024) att tester som simulerar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) och påskyndad naturlig oxidation (Tunna 2) inte producerar surt eller metallrikt lakvatten, oavsett svavelhalt i materialet.

Forcerad oxidation med väteperoxid (Tunna 3) visar på kraftigt förhöjd försurnings- och lakningspotential jämfört med naturliga förhållanden. Detta överensstämmer väl med testets hypotes. Baserat på hittills erhållna resultat (2023–2024) bedöms ett materials benägenhet att producera surt och metallrikt lakvatten kraftigt överskattas vid forcerad oxidation och kan inte förknippas med verkliga förhållanden.

De slutsatser som kan dras utifrån hittills erhållna resultat är att normal hantering av krossade bergmassor inte utgör någon risk för vare sig försurning eller urlakning och utgör ingen risk för oacceptabla negativa effekter på miljö och eller människa under tidsperioder motsvarande testets varaktighet.

Det storskaliga lakttestet kommer att fortsätta i ytterligare två år och därefter kommer en slutrapport att publiceras. Slutrapporten omfattar erhållna lakvattenresultat från samtliga Batchar över en längre tidsserie (2023–2026). De fortsatta studierna förväntas ge ytterligare insikter som kan bidra till att optimera hanteringen av entreprenadberg.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

3 Bakgrund

I Stockholms berggrund förekommer svavel generellt som sulfidmineral i sedimentära bergarter, till exempel sedimentådergnejs. Mineralerna i berget ligger stabilt inbundna i berget så länge det inte exponeras för syre och vatten. På ytorna av bergmaterial som utsätts för väder och vind uppstår oxidation, så kallad vittring. Vittring är en naturlig process som sker överallt i markmiljön och i berggrunden.

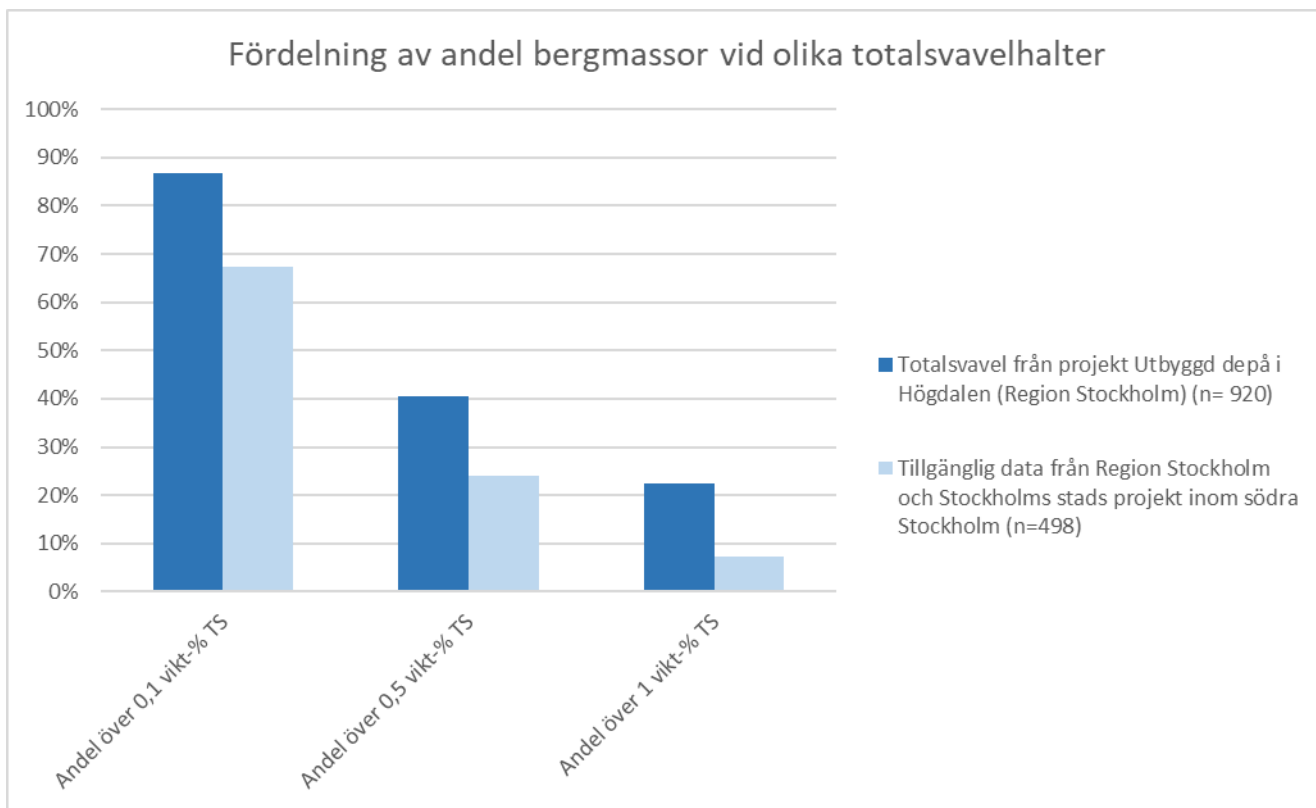
När sulfidmineral vittrar bryts den kemiska bindningen mellan svavel och den bundna metallen, exempelvis järn. När detta sker bildas sulfat samt frigörelse av vätejoner och den bundna metallen. Vid vittring av bergmaterial sker även neutraliserande processer, till exempel vittring av karbonater och silikater som konsumerar vätejoner och således möjliggör buffring av utgående lakvatten. När dessa processer sker påverkar det även övriga mineraler i bergmaterialet och därav lakvattenkemin.

Urlakningspotentialen hos ett bergmaterial beror bland annat av reaktiviteten hos materialet, som i sin tur beror av materialets kornstorlek. Det vill säga den tillgängliga specifika ytarean, den yta som exponeras mot vatten och syre. Den specifika ytarean beskriver area per volym, vilket innebär att ju finkornigare ett material är, desto större är den specifika ytarean i relation mot sin volym. Till exempel motsvarar sand i fraktionen 1 mm en specifik yta om ca 0,2 m²/g. För en krossprodukt i fraktion 150 mm är motsvarande yta ca 0,001 m²/g. Motsvarande yta för ler i fraktionen 0,002 mm har en specifik yta om ca 100 m²/g. Skillnad i reaktivitet mellan lerfraktion och en krossfraktion är i storleksordningen 10⁵, vilket innebär att normala krossprodukter i fraktion 0–150 mm har en mycket liten reaktivitet och därav urlakningspotential i jämförelse med lerpartiklar. Det är bland annat därför sulfidjordar förknippas med en högre reaktivitet än bergkrossmaterial som innehåller sulfidmineraler.

Region Stockholm har i förundersökningsskede samt under produktion inom Nya tunnelbanan, genomfört ett 100-tals labbanalyser. Dessutom har förvaltningens geologer under produktionsskedet i samband med tunneldrivningen utfört geologisk kartering av tunnelmynning och tunnelväggar. På så sätt har man erhållit en god förståelse av huvudbergart för tunnelberget, vilket i södra Stockholm är sedimentådergnejs.

Region Stockholm har gjort en sammanställning av totalsvavelanalyser i södra Stockholm för att ta reda på hur mycket och spridningen av sulfidmineraler som finns i berget. Sammanställningen består av ca 1400 punkter varav 900 punkter härstammar från utbyggnaden av depån i Högdalen och resterande från utbyggnaden av tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och Söderort samt tillgängligdata från Stockholm stads exploateringsprojekt i södra Stockholm. Högdalen utpekades tidigt av förvaltningen som ett område med troligtvis höga totalsvavelhalter i berggrunden vilket senare även bekräftats i och med utförd provtagning. Provtagningen (920 prover) visar ett medianvärde för totalsvavel i Högdalen på 0,34% (3400 mg/kg), med en spridning mellan 0,01 och 8,5 vikt-% svavel. För de övriga projekten i södra Stockholm (500 prover) är motsvarande medianhalt för sedimentådergnejs 0,2% (2000 mg/kg), med en spridning mellan 0,01 och 2,4 vikt-% svavel. Vidare, i Figur 1 presenteras respektive datasets fördelning av andelen bergmassor som överstiger 0,1, 0,5 respektive 1 vikt-% totalsvavel.

Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 1: FÖRDELNING AV ANDEL BERGMASSOR VID OLIKA TOTALSVAVELHALTER

I dagsläget finns det två laborietester (ABA-test och NAGpH) som används för att bedöma ett materials försurningspotential, alltså förmågan för ett material att orsaka lågt pH. Dessa tester utförs på finmalt material där minst 85% är mindre än 0,075 mm, det vill säga mindre än en sandfraktion. Det innebär att det testade materialet har en mycket större specifik yta och därmed högre reaktivitetsförmåga och en större urlakningspotential än det faktiska bergmaterialet, vilket leder till en stor överskattning av lakningsförmågan. Vid NAGpH-test tillsätts även väteperoxid vilket är ett starkt oxidationsmedel som resulterar i ytterligare påskyndad vittring och urlakning. För de båda lakttesterna medför även detta troligtvis en överskattning av materialets lakningsegenskaper. Vid utvärdering av ett statistiskt lakttestresultat behöver detta beaktas för att inte överskatta urlakningspotentialen för de massor som ska användas.

Det finns idag inga riktvärden för att utvärdera totalsvavel, ABA och NAGpH resultat för att bedöma försurningspotentialen med avseende på entreprenadberg. Däremot finns det utsatta riktvärden för ABA och sulfidsvavel i utvinningsindustrins avfallsförordning 2013:319 för när ett avfall från utvinningsindustrin kan anses vara inert.

Utifrån ovan kunskap om svavelinnehållet i berget i södra Stockholm och kunskapen om att berget har använts i utbyggnaden av Stockholm utan restriktioner under flera hundra år borde en omfattande miljöpåverkan kunnat påvisas om materialet orsakar miljöpåverkan, men så är inte fallet.

Det finns alltså en kunskapslucka mellan potentiell försurningspotential mellan laborietester och faktisk försurning av entreprenadberg. En undersökning av försurnings- och urlakningspotentialen från bergmassor i de vanligt förekommande fraktionerna är således viktig att utreda. Detta för att kunna hantera bergmassor på ett så cirkulärt och hållbart sätt som möjligt utan att riskera negativa effekter på omgivande miljö.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

4 Syfte

Det huvudsakliga syftet med det storskaliga laktestet är att erhålla en fördjupad förståelse och öka kunskapen kring laknings- och försurningspotentialen hos entreprenadberg med olika totalsvavelhalter (Batch). De erhållna resultaten från rapporterna förväntas kunna användas för att främja en hållbar cirkulär masshantering utan oacceptabel påverkan på människas hälsa och miljö.

Det storskaliga testet omfattar fyra olika laktester där Batcharna genomgår naturlig oxidation (Tunna 1 och Berghög), naturligt påskyndad oxidation (Tunna 2) samt forcerad/accelererad oxidation (Tunna 3 väteperoxid) genom tillsats av väteperoxid. Forcerad oxidation ingår i testet då det efterliknar laboratorieförsök i form av NAGpH-test. Syftet med det storskaliga testet är delvis också att kunna bedöma hur stor vikt forcerad oxidation/NAGpH-test har för att skatta materialets laknings- och försurningspotential i förhållande till naturlig/naturligt påskyndad oxidation. Hypotesen är att forcerad/accelererad sulfidoxidation genom tillsats av väteperoxid överskattar materialets laknings- och försurningspotential.

Aktuell delrapport beskriver det storskaliga testets utfall av provtagningen av lakvattnet under den första perioden (2023–2024). Delrapporten inbegriper kortfattade beskrivningar av de initiala provtagningarna av bergmaterialet, metoderna för provtagning av bergmaterial och lakvatten, justeringar av testet samt en utförligare beskrivning av resultaten fram till och med 2024-06.

5 Avgränsningar och osäkerheter

I avsnittet presenteras de avgränsningar och osäkerheter som uppstått innan och under testet som kan ha en inverkan på testets resultat.

Resultatutvärderingen inom föreliggande storskaligt test är framför allt baserat på erhållna lakvattenanalyser. En avgränsning inom denna delrapport blir således att kopplingar mellan lakvattenkemi och bergmaterialets geokemiska sammansättning inte har utförts. Då den mineralogiska undersökningen inte heller har utförts av materialet i dagsläget kan vissa förklaringar och kopplingar av resultaten inte göras i denna delrapport.

Petrografisk analys kommer att utföras av Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI), på vissa Batchar som används i det storskaliga testet. Detta projekt pågår och planeras att avslutas och redovisas under slutet av 2024. Även mineralogisk karakterisering är planerat att utföras på en del av det material som används inom laktestet. Det är i dagsläget oklart om detta arbete kommer att utföras av VTI, Research Institutes of Sweden AB (RISE) och/eller Luleå tekniska universitet (LTU). Arbete planeras att utföras under 2025–2026. Inom ramen av föreliggande delrapport ingår således ingen detaljerad mineralogisk/petrografisk analys av bergmaterialen som laktestas.

Under laktestets gång har det uppstått problem bland annat genom att IBC-tunnornas kranar, för framför allt Tunna 1 för samtliga Batchar, har läckt vatten. I syfte att på ett mer tillförlitligt sätt beräkna mängden ämnen som har utlakats för samtliga Batchar, som avser Tunna 1 och Berghögen, har SMHI nederbördsdata från närmast belägna väderstation använts. För mängdberäkningarna har även, fastän på ett konservativt sätt, avdunstning och perkolation beaktats (se kapitel 7.2 Lakvatten). Luftgenomströmningen och syretillgången i Berghögen skiljer sig åt jämfört med Tunna 1, Tunna 2 respektive Tunna 3 väteperoxid där materialet är placerat i IBC-tunnor. Skillnader och variationer avseende syretillgängligheten i materialet i de olika

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

laktesterna har inte beaktats inom det storskaliga testet. Detta medför att viss osäkerhet erhålls med avseende på föreliggande resultat som presenteras inom ramen av delrapporten.

Under vintermånaderna när materialet varit fruset har ingen provtagning utförts. Tillsats av väteperoxid har heller inte utförts. Resultaten härstammande från den första provtagningsinsatsen under våren kan således påvisa särskilt förhöjda halter av metaller.

Den enhetsvolym vatten, som tillförs Tunna 2 respektive Tunna 3 väteperoxid inför fältmätning och/eller provtagning, utgörs av grundvatten från bergborrad brunn inom täktområdet. Det s.k. brunnsvattnet har provtagits och analyserats för olika parametrar och ämnen vid flertalet tillfällen under perioden 2023–2024 och även innan uppstarten av det storskaliga lakförsöket. I samband med regnoväder och signifikanta nederbörds mängder under augusti 2023 påverkades brunnsvattnets kvalitet med aningen förhöjda halter av bland annat aluminium, koppar, kobolt och nickel som påföljd. Brunnsvattnet användes i samband med provtagningen för Tunna 2 och Tunna 3 väteperoxid i augusti 2023. Inga avvikande haltvariationer påvisades i lakvattenresultaten vid provtagningstillfället i augusti 2023.

Data har bearbetats för vissa lakvattenprover erhållna under sommar- och vinterhalvåret, för att kunna presentera en representativ jämförelse av analysresultaten. I syfte att redovisa resultaten på ett pedagogiskt och mer lättförståeligt sätt har data i figurerna som presenteras i kapitel 7.2 Lakvatten justerats genom att ange den utlakade mängden för ett visst ämne som det minsta värdet på X-axeln (nära 0). Eftersom det minsta värdet på X-axeln använts istället för ett nollvärde blir figurerna/graferna mera lättbegripliga och mindre ”hackiga” i sin utformning. Vid utvärdering av figurerna som presenteras i kapitel 7.2 bör man även ha i åtanke att lakvattenprover inte har uttagits under delar av sommar och vinterhalvåret och därför påvisas relativt stora skillnader avseende utlakad mängd ämnen mellan olika provtagningstillfällen under ett år.

Resultaten i föreliggande rapport avspeglar de initiala resultaten som har erhållits under tidsperioden 2023–2024 då det storskaliga testet har bedrivits. Laktestet kommer att fortsätta i ytterligare två år och resultaten från hela försöksperioden (2023–2026) kommer att redovisas i en slutrapport.

6 Lokalisering av laktest

Laktesten utförs vid Veidekkes krossanläggning i Gillinge, Vallentuna. Testet utförs i den västra delen av tåkten på en avskild yta där ingen övrig verksamhet äger rum, förutom förvaring av containers, reservdelar och utrustning för arbetsmaskiner (Figur 2). Eventuell damning som kan uppstå i tåkten, framför allt sommartid, har inte påverkat lakförsöken under perioden 2023–2024. Detta har förhindrats bland annat genom bevattning och saltning av samt användning av Dustex på grusvägarna i tåkten. Testytan är även belägen på en signifikant högre höjd jämfört med den dagliga täktverksamheten och eventuell dammspridning förekommer huvudsakligen nere i tåkten.

Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 2. VEIDEKKE'S TÄKT I GILLINGE SAMT OMRÅDET DÄR LAKTESTENS BEDRIVS (RÖD REKTANGEL).

7 Provtagningsstrategi och genomförande

Det storskaliga testet utförs på tunnelberg med fem olika totalsvavelhalter, Batch B-F (0,2, 0,4, 0,7, 1,0 och 1,5 vikt-%) vid Gillingetäkten i Vallentuna. Batch B, som representerar tunnelberg med en totalsvavelhalt på 0,2 vikt-%, motsvarar medianhalten av svavel i sedimentådergnejs i södra Stockholm.

Bergmassor som används inom ramen för det storskaliga testet utgörs av sedimentådergnejs från projekt Utbyggd depå i Högdalen samt Gullmarsplan. För varje totalsvavelhalt utförs fyra laktester med fraktionsstorlek 0 – 150 mm och sammanlagt utförs således 20 laktester.

I Bilaga 1 presenteras resultat från samtliga utförda provtagningar och kemiska analyser inför och under det storskaliga testet. I Bilaga 2 beskrivs utförligare metodiken kring provtagning, provberedning, utförande och kemisk analys.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

7.1 Provtagning bakgrundsparmetrar

Inför uppstart av laktestet har provtagning av flertalet bakgrundskällor utförts. Dessa utgörs av följande:

1. Grundvatten från bergborrad brunn som används till det storskaliga testet
2. Regnvatten
3. Brunnsvatten vid testyta

I syfte att erhålla information om kvaliteten av och kemin i det grundvatten som avses tillföras de olika laktesterna (Tunna 2 respektive Tunna 3 väteperoxid) har provtagning och kemisk analys utförts vid fyra tillfällen under perioden 2022-09 – 2023-06. Provtagningen har ägt rum innan uppstart av det storskaliga laktestet (2022-09 samt 2022-12) samt under testets gång (2023-03 samt 2023-06). Grundvattnet erhålls från bergborrad brunn vars djup är 160 meter. Brunnen är lokaliserad invid Veidekkes platskontor på krossanläggningen i Gillinge. Brunnsvattnet används i dagsläget huvudsakligen till spolning och tvätt av maskiner och fordon, inte för dricksvattenändamål. I samband med provtagningen har duplikat uttagits och kemisk analys har utförts på både filtrerade och ofiltrerade duplikat.

Regnvatten har insamlats kontinuerligt ända sedan uppstarten av det storskaliga laktestet. Den huvudsakliga målsättningen har varit att erhålla information om den ackumulerade årliga nederbördsmängden respektive regnvattenkemin. För mätning av nederbördsmängden har konventionell trädgårdsregnmätare använts. Regnmätare installerades i samband med uppstarten av lakförsöken 2022-01-17 och mängden insamlat regnvatten noteras/antecknas ungefär ett par gånger i månaden. Den ackumulerade mängden regnvatten har jämförts med SMHI:s nederbördsdata (Vallentuna väderstation) och har vid behov justerats. Provtagning av regnvatten har utförts genom att låta ett uppsamlingskärl försett med uppborrat plastlock stå placerat invid testytan under perioden 2023-01-17 – 2023-03-17 respektive 2023-08-17 – 2023-11-17. I uppsamlingskärlet sipprar regnvatten långsamt in genom det uppborrade locket och bl.a. därav behöver uppsamlingstiden uppgå till 3 månader. Insamlat regnvatten har sedan skickats till laboratorium för kemisk analys.

Efter färdigställandet av testytan (2022-09) uttogs filtrerade och ofiltrerade samlingsprover av vatten från de olika markanlagda brunnarna vid två tillfällen (2022-11 respektive 2022-12) (Figur 3).



FIGUR 3. ASFALTERAD TESTYTA MED TILLHÖRANDE MARKANLAGDA BRUNNAR SOM SAMLAR UPP INRINNANDE LAKVATTEN AVSEENDE BERGHÖGEN FRÅN DE AVSKÄRMADA ASFALTSYTORNA. BILD TILL HÖGER VISAR BRUNN MED UTLOPPSRÖR I SAMBAND MED FÄLTMÄTNING.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

Syftet med provtagningen var dels att erhålla kännedom om brunnsvattnet innehåll förhöjda koncentrationer av föroreningar relaterade till anläggningen av testytan (ex. ytbeläggningen), och dels för att erhålla bakgrundsinformation om brunnsvattenkvaliteten innan uppstart av lakförsöket.

För sammanställning av resultaten avseende bakgrundsp parametrar hänvisas läsaren till Bilaga 1.

7.2 Provtagning bergmaterial inför laktest

I projekterings- och produktionsskedet har man inom arbetstunneln i projekt Utbyggd depå i Högdalen och Gullmarsplan utfört provtagning på borrkax från bergborrningar. Provtagningen ger kunskap om totalsvavelhalter längs med tunnelsektionerna. I samband med tunneldrivningen i produktionsskedet har geologisk kartering av tunnelmyning och -väggar utförts av förvaltningens geologer. Resultaten från karteringen har givit information om huvudbergart för respektive sektion av tunneln. För det storskaliga laktestet har bergarten sedimentådergnejs med ett totalsvavelinnehåll på 0,2–1,5 vikt-% varit av intresse.

Totalt har fem olika sektioner av utsprängt bergmaterial transporterats till Gillinge. Dessa sektioner kallas framöver i rapporten för *Batch*. Respektive Batch innehåller olika totalsvavelhalt.

Väl vid upplaget i Gillinge har ca 50 ton av respektive Batch krossats till fraktionsstorlek 0–150 mm med mobilt krossverk (Figur 4).



FIGUR 4. KROSSNING OCH PROVTAGNING AV BERGMATERIAL SOM REPRESENTERAR BATCH F.

Av materialet som krossats utgörs ca 30% av fraktion 0–16 mm och 70% av 16–150 mm. Krossningen av 50 ton material har utförts i sammanlagt 10 repriser. För varje 5 ton som krossats har 3 delprover (å 3–4 kg) uttagits från materialet som representerar 0–16 mm respektive 16–150 mm. Efter att 5 ton har krossats och provtagits så har materialet lagts åt sidan i separata högar (0–16 mm respektive 16–150 mm) och krossning och provtagning av följande 5 ton material har utförts. Detta upprepades 10 gånger tills allt bergmaterial (50 ton) krossats och sammanlagt erhöles 6 st. samlingsprover, varav 3 st. (ca 100 kg) representerar 0–16 mm och 3 st. (ca 100 kg)

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

representerar 16–150 mm. Samlingsproverna skickades sedan till laboratorium (ALS Piteå) för provberedning och därefter för analys (ALS Luleå) av totalsvavelhalt och kalcium i syfte att avgöra ifall svavelhalten låg inom eftersökt spann. Kalcium analyserades i syfte att avgöra om bergkrosset var påverkat av injekteringsbruk eller sprutbetong. Analyserna gav resultat på den ingående totalsvavel- och kalciumhalten som är representativ för den totala mängden krossat bergmaterial (50 ton). I samband med krossningsförfarandet vid Gillinge erhöles resultat avseende fördelningen av de olika fraktionsstorlekarna. Utifrån dessa resultat uttogs i ett senare skede korrekta proportioner av de olika fraktionsstorlekarna som laktesterna utfördes på. Det är av stor vikt att samtliga laktesters material har liknande kornstorleksfördelning och totalsvavelhalt för att möjliggöra likvärdig utvärdering och analys av data. Vid godtagbara analysresultat (svavel och kalcium) uttogs ifrån delproverna likvärdiga andelar material i förhållandet 30%/70% (0–16 mm respektive 16–150 mm) som sammanslogs till ett nytt samlingsprov vid laboratoriet (ALS Luleå). Detta samlingsprov, som representerar det slutliga materialet som skall användas för laktestet, analyserades för totalhalter grundämnen (TC-3), ABA- och NAGpH-test analys i syfte att erhålla information om bergkrossets kemiska sammansättning och egenskaper. Resultat från samtliga utförda kemiska analyser för respektive Batch redovisas i Bilaga 1. För mera information avseende provberedningsförfarandet, provhantering och analys hänvisas läsaren till Bilaga 2.

Utöver detta uttogs ytterligare två prover (40 kg av 0–16 mm samt 280 kg av 16–150 mm) av ursprungsmaterialet avseende Batch F för siktanalys. Syftet med siktanalysen var att erhålla information om kornstorleksfördelningen för fraktionsstorlek 0–16 mm samt 16–150 mm. Resultaten från siktförsöket redovisas i Bilaga 1.

7.3 Metodik laktest

I det storskaliga laktestet ingår fem Batchar med olika totalsvavelinnehåll och för varje Batch utförs fyra laktester, sammanlagt utförs således 20 laktester.

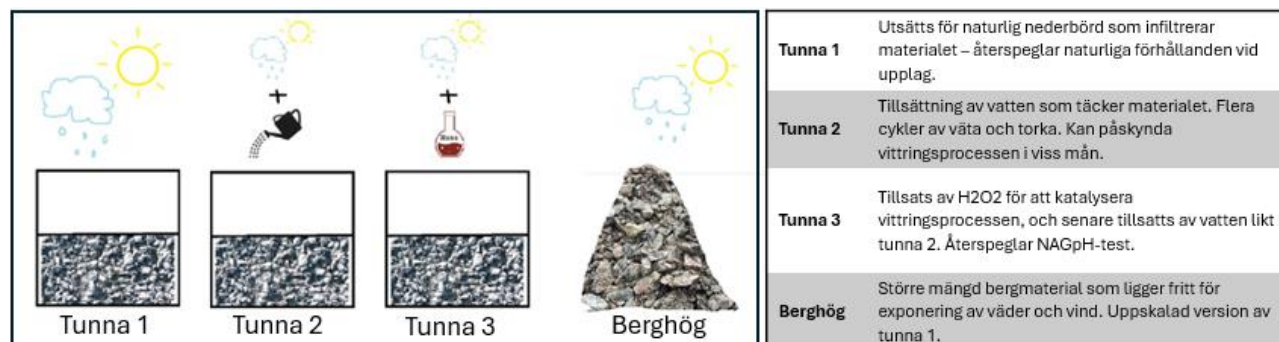
TABELL 1. ALLMÄN INFORMATION AVSEENDE DE OLIKA BATCHARNA SOM LAKTESTAS.

Information	Batch B	Batch C	Batch D	Batch E	Batch F
Totalsvavelhalt (vikt-%)	0,2	0,4	1,0	0,7	1,5
Ursprung förvaltningen	Depå Högdalen	Depå Högdalen	Gullmarsplan	Depå Högdalen	Depå Högdalen
Huvudbergart	Sedimentådergnejs	Sedimentådergnejs	Sedimentådergnejs	Sedimentådergnejs	Sedimentådergnejs
Laktest (st.)	4 (3 tunnor, 1 berghög)	4 (3 tunnor, 1 berghög)	4 (3 tunnor, 1 berghög)	4 (3 tunnor, 1 berghög)	4 (3 tunnor, 1 berghög)
Uppstart laktest	jan-23	apr-23	jun-23	jun-23	aug-23
Fraktionsstorlek (mm)	0–150	0–150	0–150	0–150	0–150
Fraktionsfördelning	30% 0–16 mm, 70% 16–150 mm	30% 0–16 mm, 70% 16–150 mm	30% 0–16 mm, 70% 16–150 mm	30% 0–16 mm, 70% 16–150 mm	30% 0–16 mm, 70% 16–150 mm

Tre av laktesterna för respektive Batch utförs med ca 1 000 kg provmaterial i var sin IBC-tunna, se Tabell 1. För varje IBC-tunna är taket avskuret för att möjliggöra kontakt mellan provmaterial och

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

nederbörd och syre. Det fjärde laktestet, Berghögen, är en hög av ca 6–8 ton provmaterial som läggs upp på en asfaltsyta.



FIGUR 5. DE FYRA OLIKA LAKTESTERNA SOM UTFÖRS FÖR RESPEKTIVE BATCH. TUNNA 1 AVSER NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 AVSER ARTIFICIELLA FÖRHÅLLANDEN, S.K. PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION, TUNNA 3 AVSER FORCERAD OXIDATION DÄR VÄTEPEROXID TILLSÄTTS OCH BERGHÖGEN AVSER NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN DÄR BERGMATERIAL FÖRVARAS PÅ UPPLAG.

Tunna 1 syftar till att återspegla naturliga förhållanden. Materialet har lagts i en IBC-tunna och enbart utsatts för naturlig nederbörd (Figur 5). Tunna 2 syftar till att på ett naturligt sätt påskynda oxidationsförloppet och lakningen genom att artificiellt vattna materialet för att få in fler cykler av väta och torka. Tunna 3 har utsatts för ett stresstest genom kontinuerlig tillsats av väteperoxid, som katalyserar/accelererar oxidationsprocessen. Tunna 3 återspeglar inte ett naturligt scenario utan efterliknar ett NAG-pH-test som inte kan relateras till verkliga förhållanden. Det fjärde laktestet, Berghögen, består av en berghög på en avskild asfaltsyta och utgör en uppskalad version av Tunna 1. Berghögen syftar till att efterlikna bergmaterial som förvaras på upplag. Genom att lägga bergmaterialet i en hög utsätts det för en högre exponering för väder och större genomträngning av syre jämfört med materialet som ligger i en tunna. Läsaren hänvisas till Bilaga 2 där upplägget för laktesten beskrivs mer detaljerat.

7.4 Uppstart laktest

Efter att kemisk analys har utförts på det provtagna och provberedda bergmaterialet för respektive Batch och resultatet återspeglar den eftersträvade totalsvavelhalten påbörjades laktestet. Eftersom bergmaterialet har inkommit till Gillinge under olika tidsperioder så har även laktesten för de olika Batcharna startats upp vid olika tidpunkter under 2023 (Tabell 1). Efter att 50 ton material krossades till fraktionsstorleken 0–150 mm utgjordes ca 30% av materialet av storleksfraktionen 0–16 mm och 70% av 16–150 mm. Denna fördelning (30/70) har varit relativt lika för samtliga fem Batchar. Vid uppstart av varje Batch har ca 10–15 ton material lagts upp med hjälp av en hjullastare i en ny hög (Figur 6).

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 6. MATERIALFÖRDELNING INFÖR UPPSTART AV BATCH B.

Materialet som ingår i högen utgörs till 30% av storleksfraktionen 0–16 mm och till 70% av 16–150 mm (Figur 6). Efter att materialet är uttaget så omblandades och homogeniserades materialet noggrant av hjullastaren. Därefter uttogs ungefär lika stor mängd material (ca 1 000 kg) med hjullastare försedd med specialskopa och placerades i tre IBC-tunnor (Figur 7).

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 7. INLASTNING AV HOMOGENISERAT MATERIAL (CA 1 000 KG) I TRE IBC-TUNNOR (LAKTEST 1, 2 OCH 3) FÖR BATCH C.

Respektive IBC-tunna har vägts innan och efter tillsats av material. Resterande del av materialet (ca 6–8 ton) lades upp intill IBC-tunnorna på den asfalterade testytan (Figur 8).

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 8. UPPSTART AV BATCH B. IBC-TUNNOR MED INTILLIGGANDE BERGHÖG UPPLAGDA PÅ DEN ASFALTERADE TESTYTAN. ÖVERBLIVET RESTMATERIAL FRÅN KROSSNINGEN (0–16 MM OCH 16–150 MM) UPPLAGT PÅ GRUSAD YTA.

Detta material representerar det fjärde laktestet och utgör Berghögen. Överblivet material från krossningen har omhändertagits och lagts upp på den grusade ytan intill testytan. På detta material har det bland annat utförts siktförsök (Batch F) samt att delar av materialet även har använts i andra projekt som drivs av andra aktörer (bl.a. VTI och LTU).

Uppstarten av samtliga fem Batchar (totalt 20 laktest) har gjorts på samma, ovan beskrivna, tillvägagångssätt.

7.5 Fältmätning och provtagning lakvatten

Samtliga laktester har påbörjats under 2023 (Tabell 1).

Under första halvåret av 2023 fram till och med augusti 2023 utfördes provtagning och fältmätning enligt ett initialt utarbetat schema (Tabell 2). Under denna period tillsattes väteperoxid i Tunna 3 för respektive Batch varannan vecka och varannan vecka utfördes även mätning av pH, temperatur, löst syre och konduktivitet (fältmätning) med handhållet mätinstrument. En gång i månaden genomfördes mer omfattande analyser där lakvattnet skickades in till ALS för analys av V-3a, V-3a-ADD, V-3a-Ag (metallanalyser), pH, konduktivitet, alkalinitet, aciditet och sulfat. I syfte att möjliggöra laktest av ytterligare bergmaterial (Batch F) med samma projektbudget fanns ett behov av att reducera provtagningsintervallet för laktesten.

Från och med september 2023 tillsätts väteperoxid i Tunna 3 för Batch B och C som innehåller de lägsta totalsvavelhalterna (0,2 vikt-% respektive 0,4 vikt-%) månadsvis och lakvatten provtas kvartalsvis (Tabell 2). I Batch D, E och F med totalsvavelhalter från 0,7 vikt-% till 1,5 vikt-% tillsätts väteperoxid i Tunna 3 månadsvis och fältmätning/provtagning utförs också månadsvis. Laktesten för Batch D, E och F har startats upp senare under 2023 jämfört med Batch B respektive C. Detta var ett av motiven till den mer frekventa lakvattenprovtagningen från bergmaterial med högre totalsvavelinnehåll.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

TABELL 2. RULLANDE MÅNADSSCHEMA FÖR SAMTLIGA LAKTEST FRÅN OCH MED 2023-09.

BATCH B & BATCH C	
<u>Tidigare (från 2023-01-2023-08-22):</u>	<u>Justering (från 2023-08-23):</u>
Fältnätning = 2 ggr/månad	Fältnätning = 4 ggr/år
Provtagning = 1 ggr/månad	Provtagning = 4 ggr/år
Väteperoxid-tillsats = 2 ggr/månad	Väteperoxid-tillsats = 1 ggr/månad

BATCH D, E & F	
<u>Tidigare (från 2023-05-2023-08-22):</u>	<u>Justering (från 2023-08-23):</u>
Fältnätning = 2 ggr/månad	Fältnätning = 1 ggr/månad
Provtagning = 1 ggr/månad	Provtagning = 1 ggr/månad
Väteperoxid-tillsats = 2 ggr/månad	Väteperoxid-tillsats = 1 ggr/månad

Samtliga uttagna lakvattenprover är ofiltrerade och filtreras på laboratorium i samband med kemisk analys. För beskrivning av provtagningsutförandet hänvisas läsaren till Bilaga 2.

8 Resultat

8.1 Bergmaterial

I nedanstående kapitel redogörs för de olika kemiska analyser/tester som har utförts på bergmaterialet som används i de storskaliga laktesten.

8.1.1 Bergart

Bergmassor från projekt Utbyggd depå i Högdalen samt Gullmarsplan har använts i testet. Översiktliga karteringar av bergmaterialet som används i testet har utförts i samband med produktionsskedet (tunneldrivning) av förvaltningens geologer. Även uppskattning av bergartsfördelningen i de 20 olika testerna har utförts (Paul Evins, WSP). Sedimentär gnejs (Vacka) är den dominerande huvudbergarten i samtliga tester med inslag av amfibolit, diatexit, granitisk gnejs, granit och pegmatit. Andelen Vacka varierar mellan 60 % - 95 % i de olika testerna.

LTU och VTI kommer under 2025-2026 att utföra petrografisk och mineralogisk karakterisering av bergmaterialet som ingår i laktesten.

8.1.2 Sikt försök

Sikt försök har utförts på ingående storleksfraktioner (0-16 mm samt 16-150 mm) i Batch F vid det ackrediterade laboratoriet, Vällstaverken, Skanska Vägtekniskt Centrum i Upplands Väsby. Materialet som har använts vid sikt försöket har uttagits ifrån restmaterialet av Batch F. Provmaterial uttogs i enlighet med laboratoriepersonalens beskrivning. Cirka 40 kg material uttogs av storleksfraktion 0-16 mm och ca 280 kg av 16-150 mm. För resultat från sikt försöken hänvisas läsaren till Bilaga 1.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.1.3 Totalhalt svavel och kalcium

I samband med krossning av bergmaterialet i Gillinge uttogs sex samlingsprover om cirka 30 kg för respektive Batch. Tre av dessa (ca 100 kg) samlingsprover utgjordes av storleksfraktion 0–16 mm och tre (ca 100 kg) av fraktionen 16–150 mm. Provmaterialet skickades till ALS Piteå för provberedning. Efter provberedning erhöles sammanlagt 24 delprover, varav 12 representerar storleksfraktionen 0–16 mm och 12 storleksfraktionen 16–150 mm. Samtliga 24 delprover analyserades för totalhalter svavel och kalcium.

Den beräknade medelhalten svavel och kalcium i bergmaterialet (0–150 mm) som används till laktesten framgår i tabell 2. Medelhalten är beräknad enligt fraktionsfördelningen 30/70 (0–16 mm respektive 16–150 mm) för respektive Batch. Beräkningen är baserad på analysresultat från 24 delprover.

TABELL 3. BERÄKNADE MEDELHALTER (TOTALHALTER) SVAVEL OCH KALCIUM PER BATCH ENLIGT FRAKTIONSFÖRDELNINGEN 30/70. AVRUNDAT MOT TIONDEL, ENHET: VIKTPROCENT (VIKT-%).

Laktest	Svavel	Kalcium
Batch B	0,2	0,6
Batch C	0,4	0,7
Batch D	1,0	0,8
Batch E	0,7	0,8
Batch F	1,5	2,6

Den höga kalciumhalten i Batch F kan vara relaterad till naturlig variation och/eller innehåll av injekteringsbruk. I samband med provtagningen kunde mindre betongfragment med inslag av sprängträdsrester skönjas i bergmaterialet.

Ett nytt samlingsprov för respektive Batch som representerar de 24 delproverna i förhållandet 30 % av fraktionsstorleken 0–16 mm och 70 % 16–150 mm har uttagits och analyserats för TC-3, ABA- och NAGpH-test. För detaljerad beskrivning av provberedningsförfarande hänvisas läsaren till Bilaga 2.

8.1.4 ABA- och NAGpH-test

Samtliga nya samlingsprover för respektive Batch har genomgått ABA- och NAGpH-test. Analysresultaten presenteras i nedanstående tabell.

TABELL 4. ANALYSRESULTAT FÖR ABA- OCH NAGpH-TESTET. NPR STÅR FÖR NEUTRALISERINGSPOTENTIAL.

Laktest	NPR	NAGpH
Batch B	2,23*	4,0*
Batch C	0,66*	3,2*
Batch D	0,23	2,6
Batch E	0,32	2,9
Batch F	0,3	2,9

*Avser medelvärdet av två utförda NAGpH-test (ALS Stockholm och ALS Irland)

Analysresultaten visar att neutraliseringspotentialen (NPR) för samtliga Batchar ligger under 3. Analysresultaten för NAGpH visar att samtliga Batchar har ett NAGpH-värde under 4,5.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.1.5 TC-3

Läsaren hänvisas till Bilaga 1 avseende totalhaltsbestämning av grundämnen för respektive Batch. Föreliggande analyser har utförts på samma samlingsprover som ABA- och NAGpH-testerna.

8.2 Lakvatten

I nedanstående kapitel presenteras erhållna lakvattenresultat för utvalda ämnen och parametrar från de olika Batcharna under tidsperioden 2023–2024. Resultaten som presenteras nedan redovisar mängden som utlakats från bergmaterialet över tid. Det är värt att igen notera att Batcharna har startats upp under olika tidsperioder (2024–01 – 2024–08) och att provtagningsintensiteten har ändrats under laktestets gång (Tabell 1, Tabell 2).

Den utlakade mängden ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ämnen för respektive laktest är uträknad enligt följande ekvation:

$$(c \times v) \div m$$

Förkortningen "c" avser koncentrationen i lakvattnet, "v" anger den totala volymen uttaget/utgående vatten och "m" utgör den totala massan krossat bergmaterial för respektive laktest.

För laktest 1 och 4, som representerar Tunna 1 och Berghögen och återspeglar naturliga förhållanden, har den totala volymen utgående vatten beräknats utifrån SMHI:s nederbördsdata (Vallentuna väderstation) genom summering av den totala mängden nederbörd mellan de olika provtagningsstillfällena. Därutöver har skattning av avdunstning och perkolation tagits i beaktande för beräkning av den utgående volymen vatten för Tunna 1 och Berghögen. Skattningen har i grova drag baserats på att avdunstningen är som högst under sommarmånaderna och att endast 10% av den totala årliga avdunstningen sker mellan oktober-mars (Lindqvist 2021, Eklund et al. 2000). Indata för årlig avdunstning avseende Stockholmsområdet har hämtats från SMHI. Perkolationen har konservativt beaktats genom att anta att den är som lägst under sommarmånaderna då materialet är torrt och ingående nederbörd binds i högre omfattning i materialets finfraktion. Under våren och hösten är perkolationen som högst då materialet i större omfattning är vattenmättat. Under vinterhalvåret är materialet fruset och då har provtagning inte ägt rum. Skattning av avdunstning och perkolation har använts för samtliga Batchar avseende Tunna 1 och Berghögen i syfte att beräkna den totala volymen utgående vatten.

För laktest 2 och 3, som representerar Tunna 2 (naturligt påskyndad oxidation) och Tunna 3 väteperoxid (forcerad oxidation), utgör den totala volymen utgående vatten den uppmätta volym som erhållits efter att den tillagda enhetsvolymen vatten har låtit infiltrera och perkolera genom bergmaterialet. För beskrivning av hur lakvattenprovtagningen har utförts så hänvisas läsaren till Bilaga 2.

I graferna nedan presenteras och jämförs de utlakade mängderna ämnen från samtliga laktest (Tunna 1, Tunna 2, Tunna 3 väteperoxid och Berghögen) per Batch. Vid vissa provtagningsstillfällen, framför allt under sommar- och vinterhalvåret, har antingen prover inte överhuvudtaget erhållits eller så har inte representativa lakvattenprover erhållits. För dessa provtagningsstillfällen har den utlakade mängden för ett visst ämne angivits som det minsta värdet på X-axeln (nära 0). Motiveringen till detta är framför allt att figurerna skall bli mera lättförståeliga och mindre "hackiga" i sin utformning.

I stapeldiagrammen nedan redovisas snittmängden ($\mu\text{g}/\text{kg}$) urlakade ämnen per vecka för samtliga laktest och Batchar under försöksperioden.

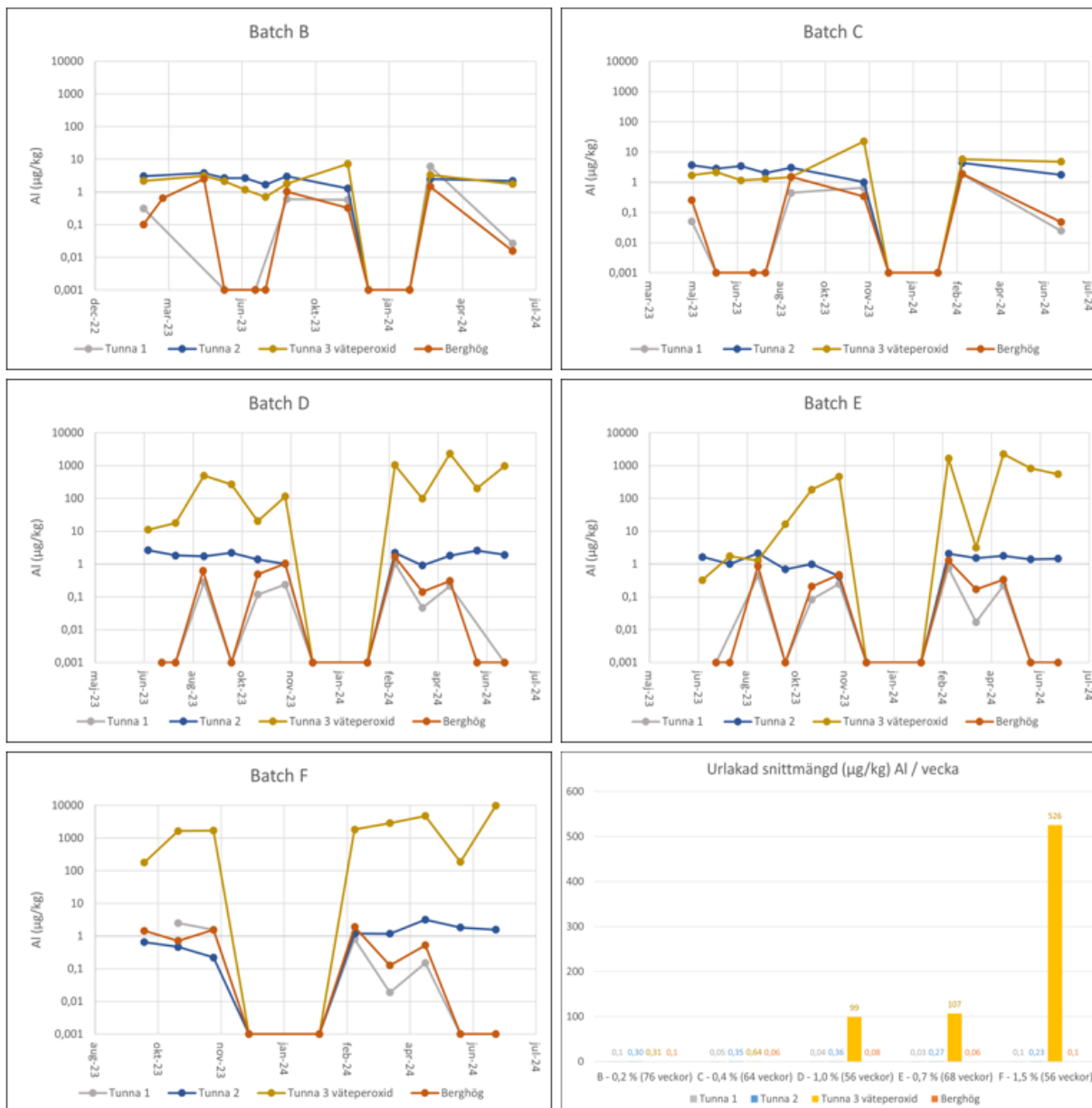
Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.2.1 Aluminium

Resultaten i Figur 9 avseende Tunna 1 och Berghögen varierar kraftigt över året. Detta är en direkt konsekvens av att ingen provtagning har kunnat genomföras under vinterhalvåret då materialet har varit fruset och dels till följd av torkan under sommarhalvåret då inga representativa lakvattenprover har erhållits. Samma mönster kan delvis även påvisas för Tunna 2 och Tunna 3 väteperoxid och detta framträder under vintermånaderna då bergkrossmaterialet är fruset och ingen provtagning ägt rum. I detta sammanhang är det även värt att upprepa att lakförsöken för de olika Batcharna har startats upp vid olika tidsperioder under 2023. För Batch B utfördes den första provtagningen i februari 2023 och för Batch F i september 2023 (Figur 9).

Generellt förefaller det som att laktionsbenägenheten avseende aluminium är lägst för Tunna 1 och Berghögen, som återspeglar naturliga förhållanden (Figur 9). I Tunna 2, som avspeglar naturligt påskyndad sulfidoxidation där materialet utsätts för fler cykler av väta och torka, är generellt aluminiumutlakningen aningen högre jämfört med Tunna 1 och Berghögen. Om man för Tunna 1 och Berghögen bortser från sommar- och vinterhalvåret då inga lakvattenprover erhållits så är variationen avseende aluminiumutlakningen relativt liten för samtliga Batchar. Samma trend kan urskiljas för Tunna 2. Utlakningen av aluminium i Tunna 3 väteperoxid skiljer sig dock jämfört med övriga lakttester. I bergmaterial med totalsvavelhalter över 0,7 vikt-% (Batch D, E och F) är utlakningen flera tiopotenser högre jämfört med de övriga lakttesten. Störst utlakning av aluminium påvisas i Batch F, som även har det högsta totalsvavelinnehållet. För Batch B och C, som innehåller en totalsvavelhalt på ca 0,2 respektive 0,4 vikt-%, kan ingen större variation med avseende på utlakning påvisas för Tunna 3 väteperoxid.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 9. MÄNGD ($\mu\text{G}/\text{KG}$) ALUMINIUM I LAKVATTEN ÖVER TID HÄRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVAVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MEDELST VÄTEPEROXID. URLAKAD SNITTMÄNGD ALUMINIUM PER VECKA FÖR SAMTLIGA LAKTESTER RESPEKTIVE BATCHAR UNDER FÖRSÖKSPERIODEN.

Sammanfattning:

För laktesten som återspeglar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) kan ingen förhöjd aluminiumutlakning påvisas över tid, detta oavsett bergmaterialets totalsvavelinnehåll. Samma trend kan urskiljas för Tunna 2 även om mängden utlakad aluminium för föreliggande laktest är aningen högre jämfört med Tunna 1 och Berghögen. Tunna 3 väteperoxid påvisar den klart högsta utlakningen av aluminium och detta är mest iögonfallande för bergmaterial med totalsvavelhalter över 0,7 vikt-% (Batch D, E och F). Aluminiumutlakningen från Tunna 3 väteperoxid är flera tiopotenser högre jämfört med de övriga laktesten avseende Batch D, E och F. Detta är ett konkret resultat av den tillsatta väteperoxiden som accelererat oxidationsprocessen och resulterat i en större utlakad mängd aluminium i förhållande till övriga laktesten som återspeglar mer naturliga förhållanden.

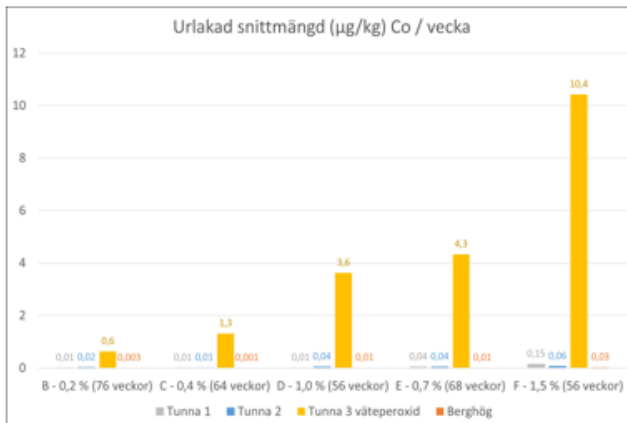
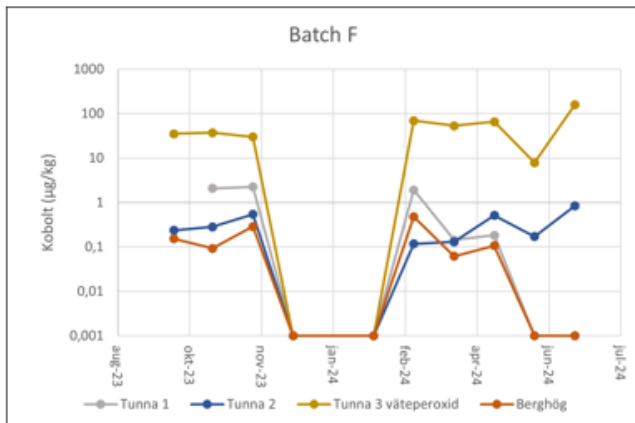
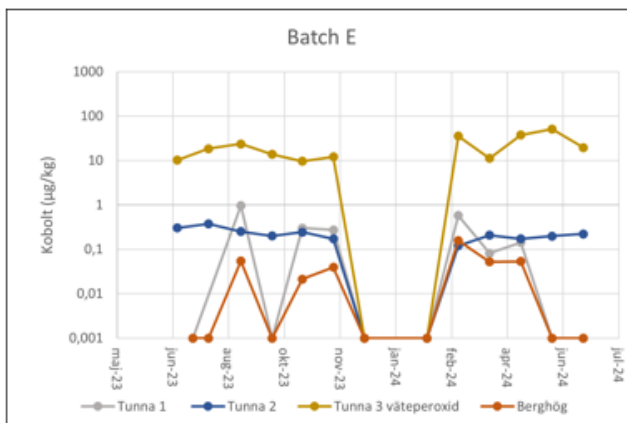
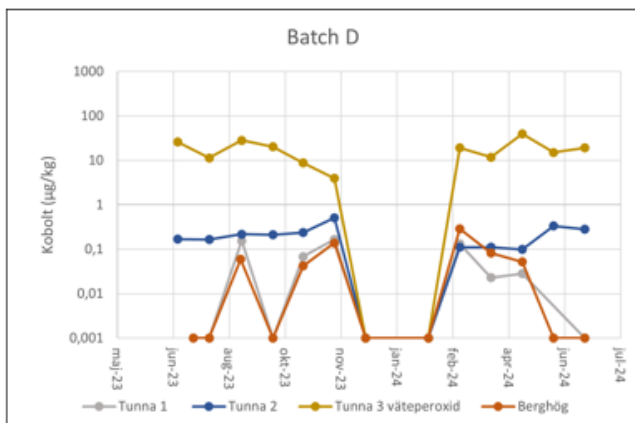
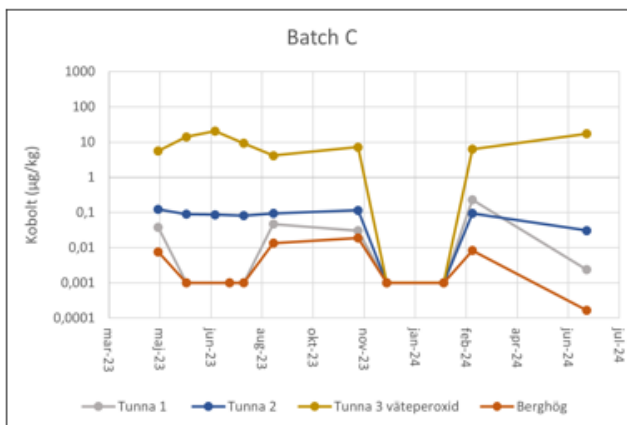
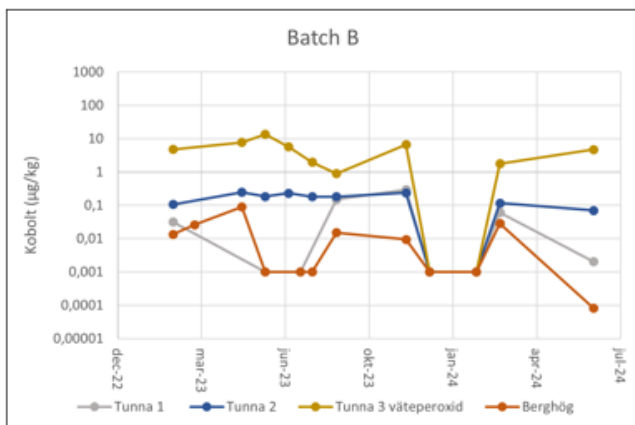
Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.2.2 Kobolt och nickel

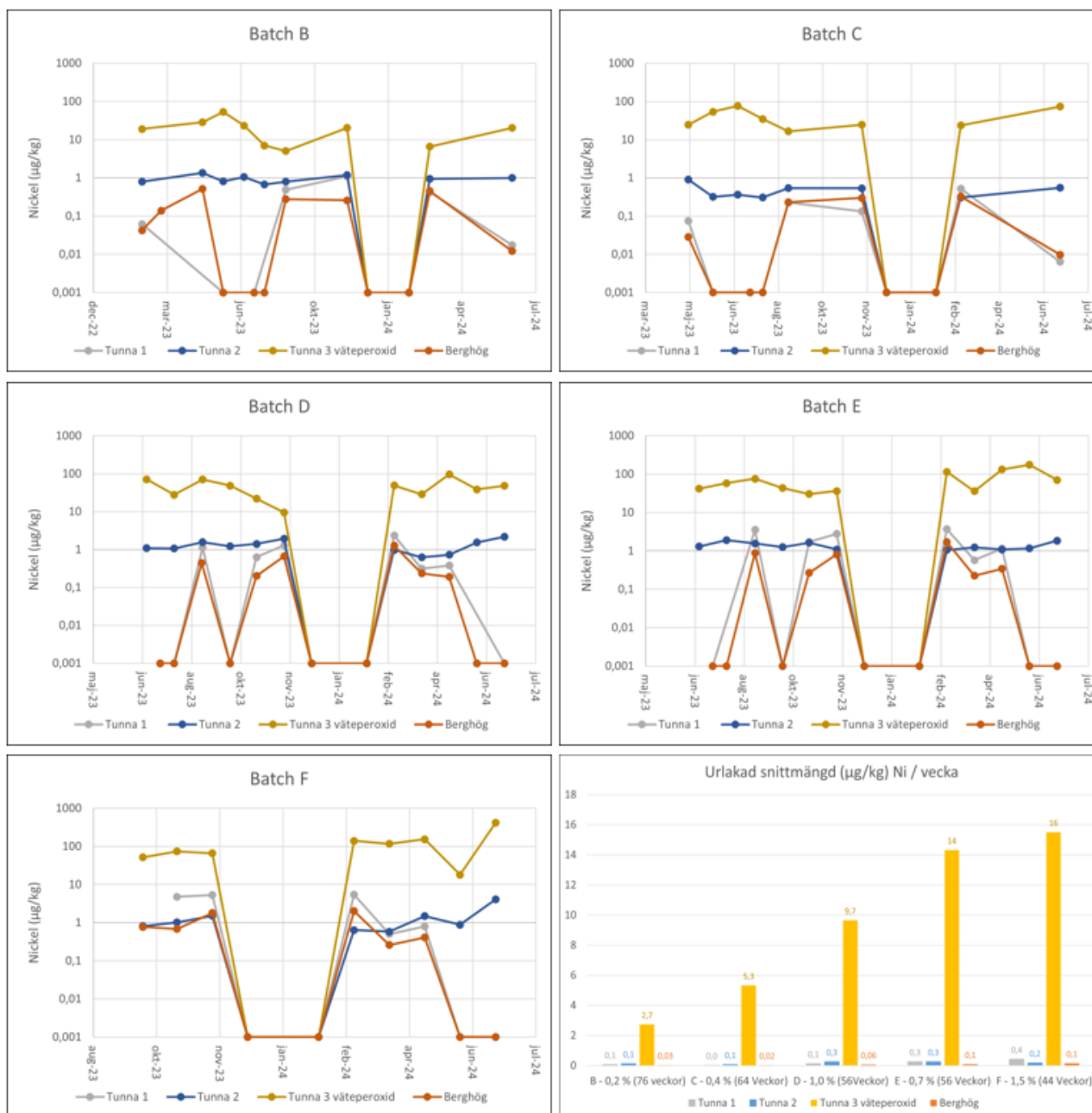
Kobolt och nickel uppvisar liknande lakningsmönster över tid för samtliga lakttester och Batchar (Figur 10). Lakttesten som återspeglar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) uppvisar generellt de lägsta utlakade mängderna av föreliggande ämnen för samtliga Batchar. Likt aluminium visar resultaten för kobolt och nickel stor variation i föreliggande lakttester under året eftersom inga representativa lakvattenprover erhållits från de olika Batcharna till följd av torka och att bergmaterialet har varit fruset. Samma mönster kan även skönjas för Tunna 2 respektive Tunna 3 väteperoxid under vinterhalvåret. Utlakningen av kobolt och nickel i Tunna 2, som påskyndar den naturliga oxidationsprocessen och lakningen, är aningen högre eller i linje med Tunna 1 och Berghögen. Om man bortser från sommar- och vinterhalvåret är variationen med avseende på den utlakade mängden kobolt och nickel relativt liten för Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen oavsett bergmaterialets totalsvavelinnehåll. Inget entydigt samband kan urskiljas mellan materialets totalsvavelinnehåll och urlakad mängd kobolt och nickel i föreliggande lakttester. Resultaten visar att sulfidoxideringsprocessen inte påverkar lakvattenkemin då utlakningen av kobolt och nickel är låg i samtliga Batchar som representerar Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen.

Tunna 3 väteperoxid, som avser forcerad/accelererad sulfidoxidation och inte återspeglar naturliga förhållanden, uppvisar de högsta utlakade mängderna av kobolt och nickel (Figur 10). Utlakningen av dessa ämnen är flera tiopotenser högre jämfört med de övriga lakttesten. Det förefaller även som att lakningsbenägenheten för Tunna 3 väteperoxid är mer omfattande ju högre totalsvavelinnehållet i bergmaterialet är. Baserat på föreliggande underlag kan ett relativt tydligt samband skönjas mellan materialets totalsvavelinnehåll och urlakad mängd kobolt och nickel. Störst utlakning av ämnena påvisas i Batch F, som har det högsta totalsvavelinnehållet.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 10. MÄNGD (µg/KG) KOBOLT OCH NICKEL I LAKVATTEN ÖVER TID HÄRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVAVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MEDELST VÄTEPEROXID. URLAKAD SNITTMÄNGD KOBOLT OCH NICKEL PER VECKA FÖR SAMTLIGA LAKTESTER RESPEKTIVE BATCHAR UNDER FÖRSÖKSPERIODEN.

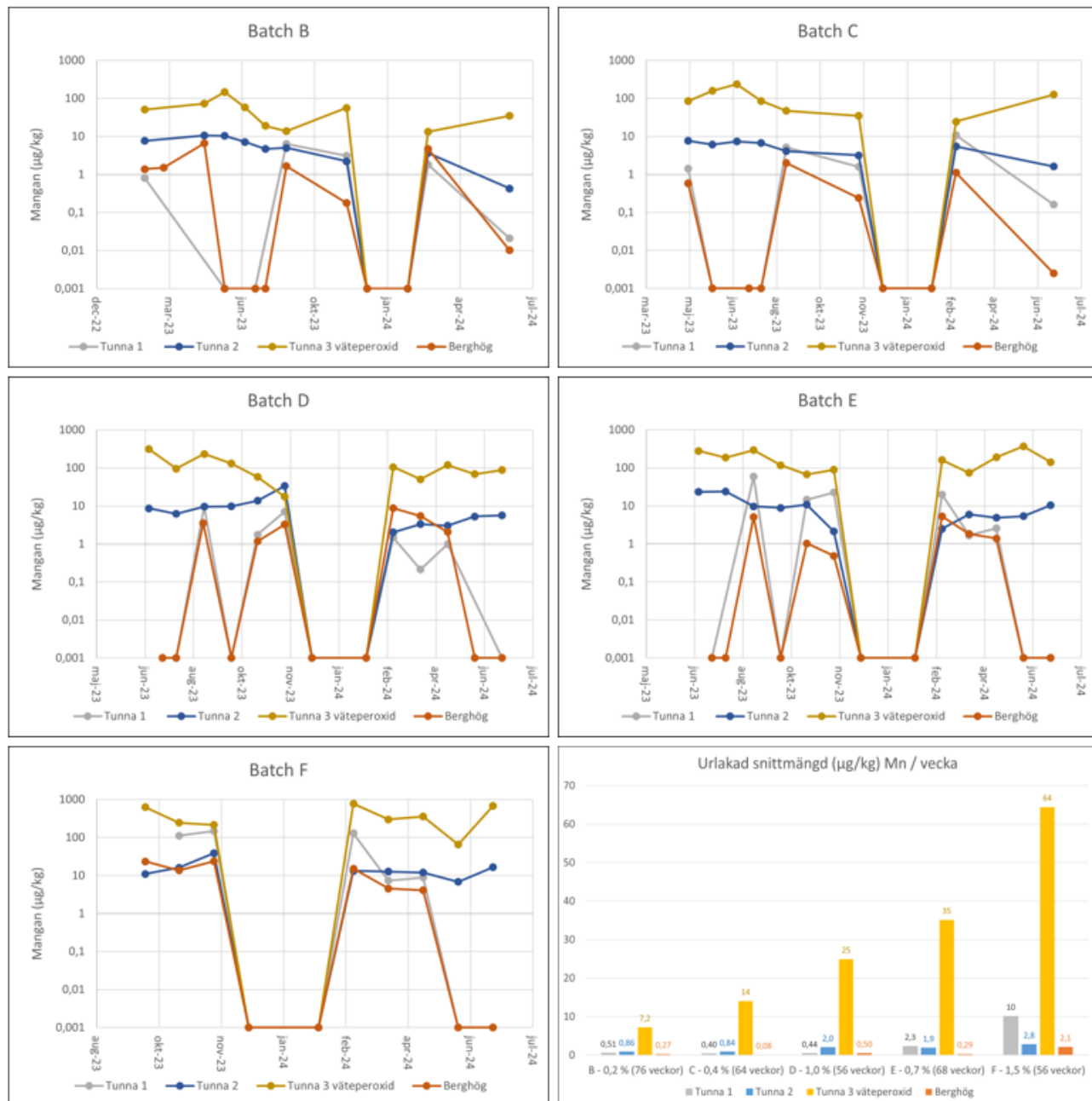
Sammanfattning:

För laktesten som återspeglar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) påvisas ingen förhöjd utlakning av kobolt och nickel över tid, detta oavsett bergmaterialets totalsvavelhalt. Samma trend föreligger för Tunna 2, som återspeglar naturligt påskyndad oxidation. Resultaten påvisar att sulfidoxideringsprocessen inte har påverkat lakvattenkvaliteten om laktesterna har varit igång upp till 76 veckor. Tunna 3 väteperoxid, som återspeglar forcerad oxidation och efterliknar ett NAGpH-test, uppvisar de högsta utlakade mängderna av kobolt och nickel för samtliga Batchar. Resultaten visar på ett samband mellan bergmaterialets totalsvavelinnehåll och utlakad mängd av föreliggande ämnen. Resultaten påvisar att oxidationsförloppet har accelererats för samtliga Batchar av Tunna 3.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.2.3 Mangan

Likt ovanstående ämnen är laktbensbenägenheten med avseende på mangan avsevärt mycket lägre för Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen jämfört med Tunna 3 väteperoxid (Figur 11).



FIGUR 11. MÄNGD (µG/KG) MANGAN I LAKVATTEN ÖVER TID HÄRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MED ELST VÄTEPEROXID. URLAKAD SNITTMÄNGD MANGAN PER VECKA FÖR SAMTLIGA LAKTESTER RESPEKTIVE BATCHAR UNDER FÖRSÖKSPERIODEN.

För Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen kan inget signifikant samband urskiljas mellan bergmaterialets totalsvavelinnehåll och utlakade mängder mangan över tid. De högsta utlakade mängderna av mangan kan tydligt påvisas i Tunna 3 väteperoxid. Det förefaller som att utlakningen av mangan delvis är relaterad till bergmaterialets totalsvavelinnehåll, ju högre

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

totalsvavelhalt desto större utlakning av ämnet i fråga. I Tunna 3 väteperoxid kan det skönjas att utlakningen av mangan i de olika Batcharna följer samma mönster/trend som nickel och kobolt även om den utlakade mängden för respektive ämne varierar. Samma mönster kan inte skönjas för aluminium. Detta tyder, åtminstone delvis, på att mangan, kobolt och nickel är kopplade till samma typ(er) av sulfidmineralfaser.

Sammanfattning:

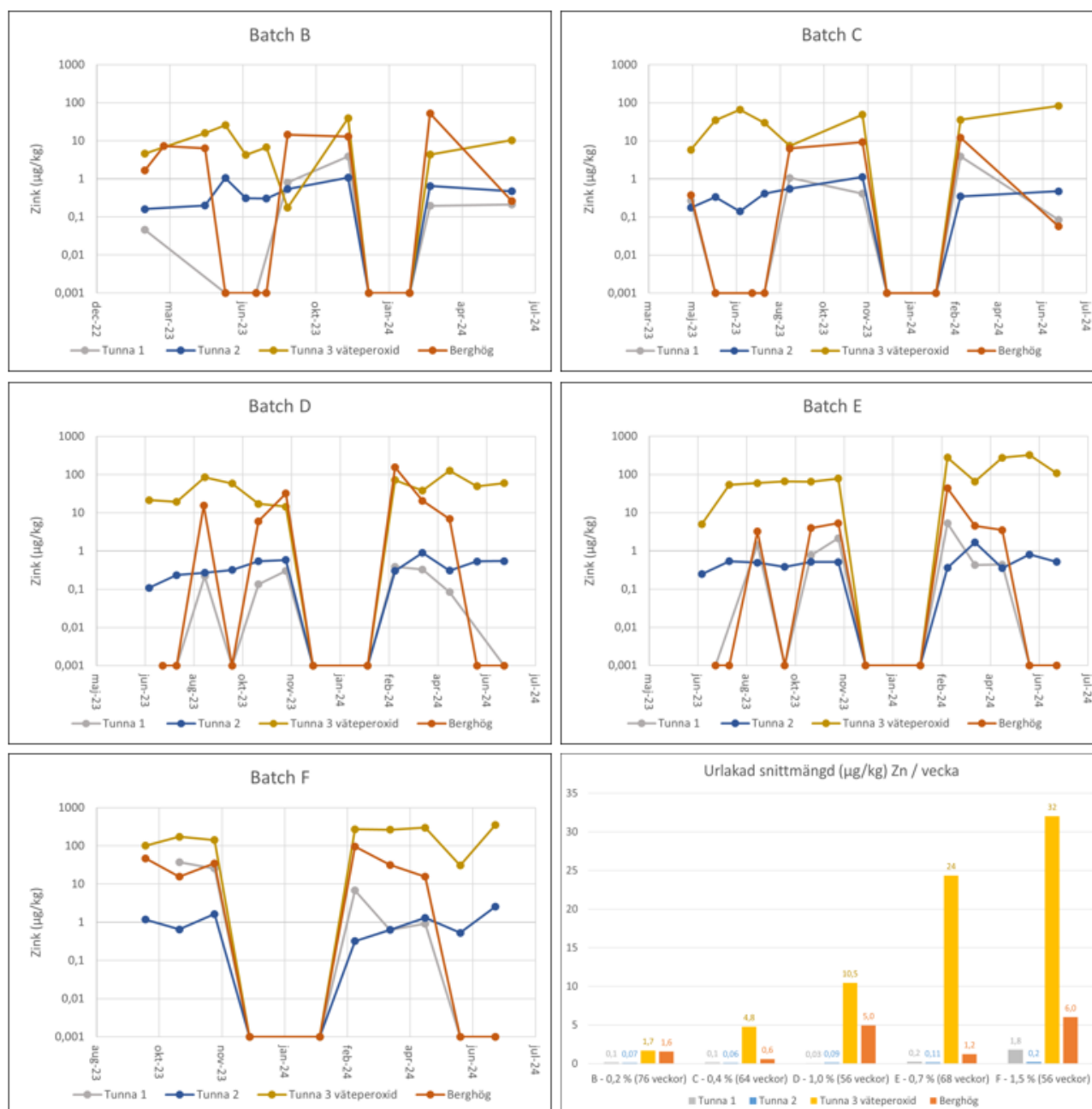
För Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen påvisas ingen förhöjd utlakning av mangan över tid, detta oavsett bergmaterialets totalsvavelhalt. Resultaten påvisar att sulfidoxidationen inte har påverkat lakvattenkvaliteten för de olika Batcharna. I Tunna 3 väteperoxid har bergmaterialets ingående sulfidmineral genomgått accelererad oxidation, vilket återspeglas i de högsta utlakade mängderna av mangan för samtliga Batchar i föreliggande laktest. Resultaten tyder även på att mangan, kobolt och nickel delvis är bundna till samma sulfidfaser i bergmaterialet.

8.2.4 Zink

Likt aluminium, kobolt, nickel och mangan kan man även för zink urskilja liknande lakningsbenägenhet och mönster även om inte lika tydligt. För Tunna 1 och Berghögen, som återspeglar naturliga förhållanden, påvisas dock betydligt större variation avseende mängden zink som utlakas i de olika Batcharna. Det är framför allt de förhöjda mängderna zink från Berghögen som sticker ut (Figur 12). Detta bedöms vara relaterat till provtagningsbrunnarnas metallhöljen/lock som är installerade ovanpå brunnens övre del och ligger delvis under den asfalterade ytan (Figur 3). Vatten som infiltrerar och perkolerar berghögen rinner sedan längs med den asfalterade ytan mot brunnen och är i kontakt med metallhöljet innan det rinner vidare ner i brunnen därifrån lakvattenprover uthämtas.

I övrigt förefaller det som att utlakningen från Tunna 2 generellt ligger i paritet med Tunna 1 för de olika Batcharna. Om man bortser från provtagningsuppehållet under sommaren och vintern kan det skönjas att den utlakade mängden zink för Tunna 1 och Tunna 2 för samtliga Batchar är låg och uppvisar generellt liten variation över tid jämfört med Tunna 3 väteperoxid. Likt de tidigare diskuterade ämnena (kobolt, nickel med mera) påvisas även för zink att den största utlakningen förekommer i Tunna 3 väteperoxid. Detta är en direkt konsekvens av att oxidationsprocessen i materialet har accelererats till följd av tillsats av väteperoxid. För Tunna 3 väteperoxid kan den utlakade mängden zink i Batch C (0,4 vikt-% totalsvavel) vid vissa provtagningsstillfällen (juni-23, november-23 och juni-24) vara i paritet med Batcharna med betydligt högre totalsvavelinnehåll. Detta kan delvis vara relaterat till "first-flush effect" där vittringsprodukterna har sköljts ut efter att en enhetsvolym med vatten tillsatts och lakvattenprover uttagits. Detta resonemang stöds också av att liknande resultat delvis kan påvisas för bland annat nickel, kobolt, mangan för ifrågakvarande provtagningsstillfällen.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 12. MÄNGD (µG/KG) ZINK I LAKVATTEN ÖVER TID HÅRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MEDELST VÄTEPEROXID. URLAKAD SNITTMÄNGD ZINK PER VECKA FÖR SAMTLIGA LAKTESTER RESPEKTIVE BATCHAR UNDER FÖRSÖKSPERIODEN.

Sammanfattning:

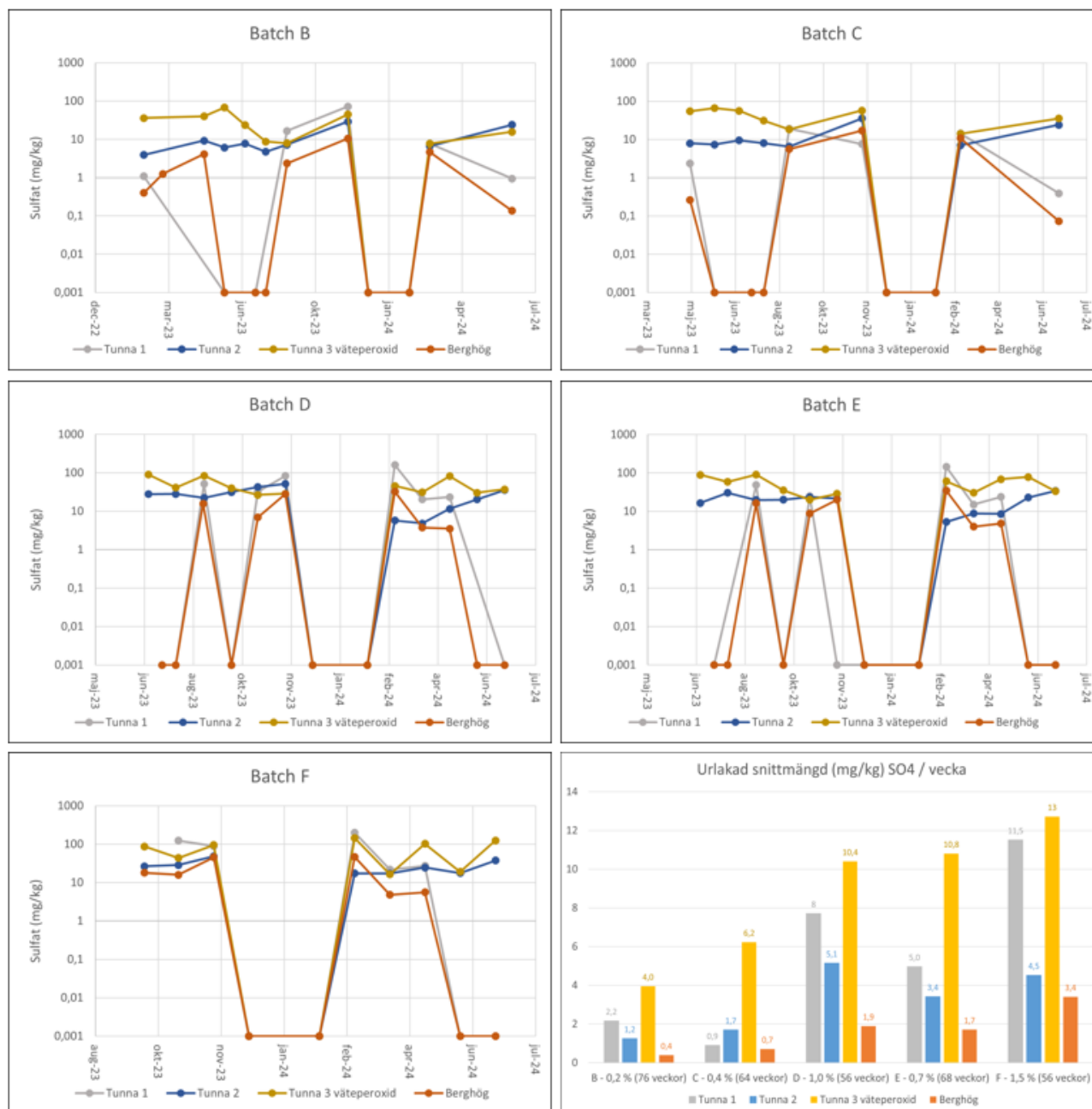
De utlakade mängderna zink för Tunna 1, Tunna 2 och Tunna 3 väteperoxid följer generellt samma trend som övriga ämnen. Den utlakade mängden zink för Tunna 1 och Tunna 2 för samtliga Batchar är låg och uppvisar generellt liten variation över tid jämfört med Tunna 3 väteperoxid. Den förhöjda utlakningen av zink avseende Tunna 3 väteperoxid är en direkt konsekvens av den accelererade sulfidoxidationen i bergmaterialet i de olika Batcharna. Förhöjda mängder utlakad zink kan även skönjas för samtliga Batchar avseende Berghögen. Denna avvikelse bedöms dock inte vara relaterad till sulfidoxidation utan kopplad till zinkpåslag från metallhöljerna som omsluter provtagningsbrunnarna där lakvattnet rinner igenom.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.2.5 Sulfat

Mängden utlakad sulfat över tid i de olika laktesterna och Batcharna uppvisar inte lika tydliga mönster som exempelvis kobolt, nickel och mangan. Ovanstående resultat (ex. kobolt och nickel) har påvisat kraftiga skillnader avseende mängden utlakade ämnen i Tunna 3 väteperoxid jämfört med övriga laktester. För sulfat, som är en biprodukt av sulfidoxidationen, kan dylika skillnader inte tydligt påvisas. Det är intressant att notera att mängden utlakad sulfat från Tunna 1, som återspeglar naturliga förhållanden, vid vissa provtagningsstillfällen ligger på samma nivåer som för Tunna 3 väteperoxid (Figur 13). Detta samband kan skönjas för bl.a. Batch B, D, E respektive F. Det är därav även värt att notera den förhållandevis låga utlakningen av sulfat från samtliga Batchar avseende Tunna 3 väteperoxid. I föreliggande laktest där sulfidoxidationen är accelererad med hjälp av väteperoxid torde, åtminstone teoretiskt sett, även mängden sulfat utlakas i större utsträckning ju högre totalsvavelinnehåll bergmaterialet innehåller. Dylika trender kan inte urskiljas i dagsläget. Även om osannolikt går det inte att utesluta att sulfat har fällts ut som sekundära sulfatmineral (ex. gips) i Tunna 3 väteperoxid till följd av eventuella rester av sprutbetong i bergmaterialet (Batch F). Detta skulle kunna ha betydelse med avseende på reducerad mängd utlakad sulfat för Tunna 3 väteperoxid, Batch F. Sett till den ackumulerade snittmängden sulfat som utlakas per vecka är dock mängden utlakad sulfat högst i Tunna 3 väteperoxid jämfört med de övriga laktesterna (Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen). Detta samband påvisas i samtliga Batchar. Baserat på föreliggande resultat blir det intressant att följa sulfatutlakningen över ett längre tidsperspektiv för att se om tydligare mönster kan urskiljas mellan bergmaterialets totalsvavelinnehåll och utlakad mängd sulfat för de olika laktförsöken.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1



FIGUR 13. MÄNGD (MG/KG) SULFAT I LAKVATTEN ÖVER TID HÄRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MEDELST VÄTEPEROXID. URLAKAD SNITTMÄNGD SULFAT PER VECKA FÖR SAMTLIGA LAKTESTER RESPEKTIVE BATCHAR UNDER FÖRSÖKSPERIODEN.

Sammanfattning:

Inga tydliga mönster, framförallt avseende Batch D, E och F, kan påvisas avseende utlakad mängd sulfat över tid mellan laktesten som återspeglar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen), påskyndad naturlig oxidation (Tunna 2) och forcerad oxidation (Tunna 3 väteperoxid). Generellt utlakas större mängd sulfat (även om marginellt) från Tunna 3 väteperoxid jämfört med övriga laktest för de olika Batcharna, dock är mängdskillnaderna anmärkningsvärt ringa i synnerhet vid jämförelse mot exempelvis kobolt, nickel och mangan. I Tunna 3 väteperoxid torde, åtminstone teoretiskt sett, även mängden sulfat utlakas i större utsträckning ju högre totalsvelinnehåll bergmaterialet innehåller. Dylika trender kan inte urskiljas i dagsläget.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

8.2.6 Övriga ämnen

Framför allt för Batch F, men även D respektive E, förefaller det som att beryllium, selen, kadmium, järn, litium och delvis även rubidium och kisel förekommer i betydligt större mängder i lakvattnet avseende Tunna 3 väteperoxid jämfört med de övriga laktesterna. Detta samband framhävs huvudsakligen från våren 2024 framåt. Ett motsatt samband kan skönjas för molybden och antimon i Batch F. Lakvattenmängderna av dessa två ämnen är generellt lägre i Tunna 3 väteperoxid jämfört med Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen. Mängden utlakad arsenik, bly, kvicksilver, tenn, vismut och silver är minimal i samtliga laktester oberoende bergmaterialens ingående totalsvavelhalt. Generellt underskred lakvattenkoncentrationerna ($\mu\text{g/l}$) för dessa ämnen laboratoriets rapporteringsgränser. Mängden utlakad kalcium varierar kraftigt både mellan de olika laktesterna respektive Batcharna. Den övervägande största kalciumutlakningen kan skönjas i Batch F där de enskilt största mängderna påvisas i Tunna 1. Bergmaterialiet i Batch F innehåller även den högsta kalciumhalten i förhållande till övriga Batchar. Krom uppvisar generellt ingen urlakning i Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen för de olika Batcharna. Viss urlakningen av ämnet kan skönjas i Tunna 3 väteperoxid för samtliga Batchar. Relativt begränsad variation avseende konduktiviteten kan skönjas under provtagningsperioden (2023–2024) för de olika laktesten och Batcharna.

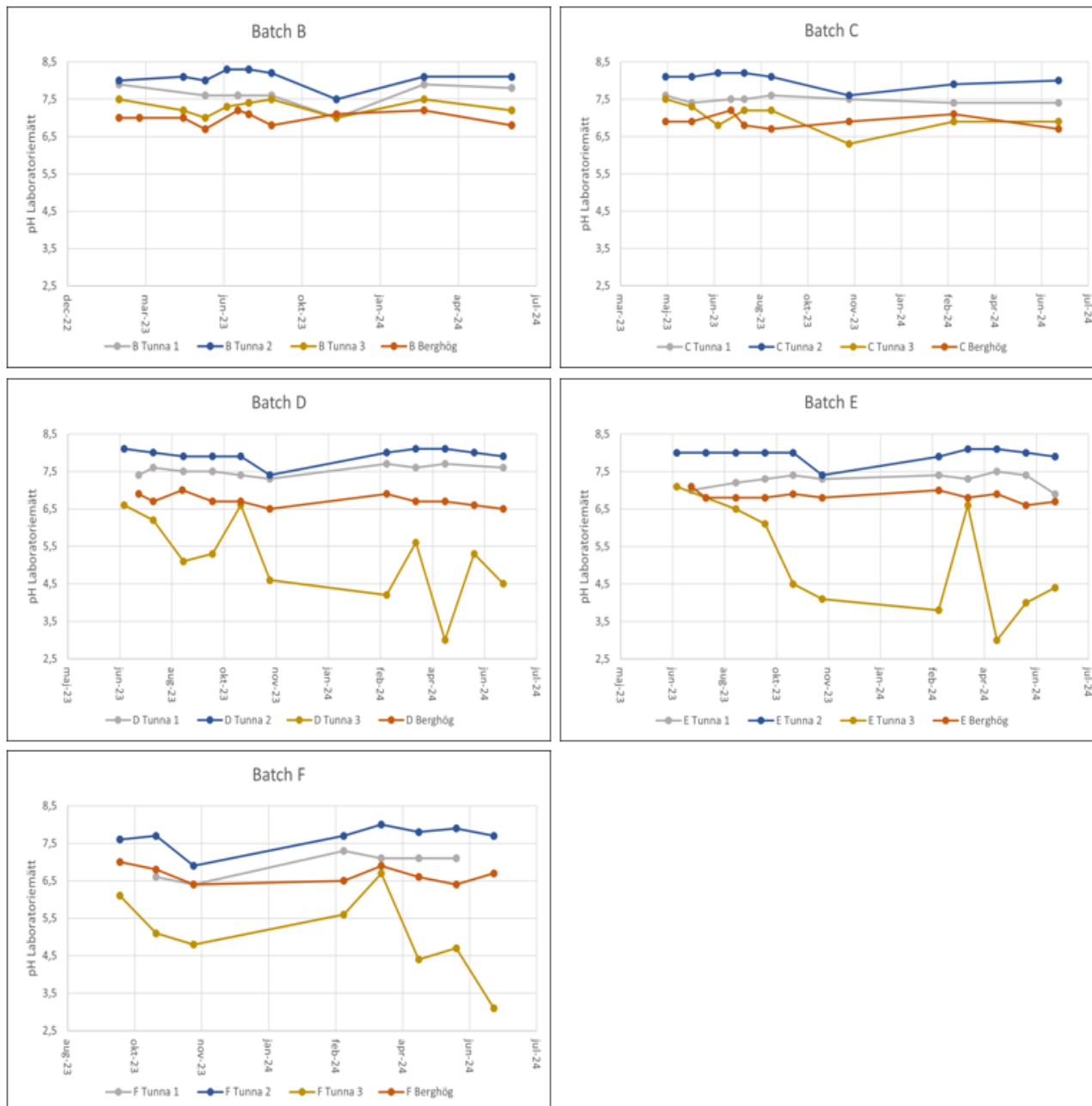
8.2.7 pH

För Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen uppvisar lakvattnets pH relativt begränsad variation under försöksperioden för samtliga Batchar (Figur 14). Lakvattnets pH i Tunna 1 varierar mellan 6,4–7,9 för de olika Batcharna. Lägst pH noterades för Batch F under de två första provtagningsomgångarna i oktober-november 2023, men under efterföljande period (februari-juni 2024) stabiliserades pH till ca 7. För de övriga Batcharna ligger lakvattnets pH avseende Tunna 1 mellan 7–8. Lakvattnets pH i Tunna 2 varierar mellan 6,9–8,3. Likt Tunna 1 uppmättes de lägsta pH-värdena i Tunna 2 för Batch F. I samband med de senaste provtagningarna (februari-juni 2024) avseende Batch F stabiliserades pH till 7,5–8,0. För de övriga Batcharna ligger pH generellt mellan ca 7,5–8,0. Lakvattnets pH i Berghögen, som ligger mellan 6,4–7,2, uppvisar begränsad variation mellan de olika Batcharna. De aningen lägre påvisade pH-värdena i lakvattnen avseende Tunna 1 och Berghögen för de olika Batcharna bedöms delvis vara relaterade till regnvattnets inverkan. Analyserat pH-värde i uppsamlat regnvatten var 6,5 och alkaliniteten $<2,4 \text{ HCO}_3^-/\text{l}$ (Bilaga 1). De aningen högre uppmätta pH-värdena i Tunna 2 bedöms delvis vara relaterade till den enhetsvolym brunsvatten som tillförs laktestet inför respektive provtagningstillfälle. Analyserat pH-värde i provtaget brunsvatten var ca 8 och alkaliniteten ca $300 \text{ HCO}_3^-/\text{l}$ (Bilaga 1). Resultaten för Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen tyder på att oxidationsprocessen inte påverkar lakvattnets pH; detta oberoende av bergmaterialens totalsvavelinnehåll. Detta argument stöds både av den relativt begränsade pH-variationen i de provtagna lakvattnen under försöksperioden, men även av den begränsade urlakningspotentialen från samtliga Batchar avseende Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen.

Likt ovanstående resultat uppvisar även lakvattnets pH i Tunna 3 väteperoxid en relativt begränsad variation under försöksperioden för Batch B och C. Iögonfallande för Tunna 3 väteperoxid är dock lakvattnets generella nedåtgående pH-trend över tid för bergmaterial med ett totalsvavelinnehåll mellan 0,7 – 1,5 vikt-% (Batch D, E och F). Vid det första provtagningstillfället för dessa Batchar (juni-sept.-2023) låg lakvattnens pH-värden kring 6–7 och i samband med det sista provtagningstillfället (juni-2024) hade pH sjunkit till ca 3,1–4,5. Lägst pH-värde uppmättes i Batch F som även innehar den högsta totalhalten svavel respektive kalcium. Intressant att notera är att buffringkapaciteten inte är tillräcklig för att neutralisera den uppkomna syran i Tunna 3 väteperoxid, Batch F. Föreliggande resultat påvisar att det tillsatta oxidationsmedlet har påskyndat

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariennr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

sulfidoxideringsprocessen i materialen i och med den kraftiga pH-sänkningen över tid. Den accelererade oxideringsprocessen har påtagligt ökat materialens reaktivitet respektive urlakningspotential.



FIGUR 14. PH-VARIATION I LAKVATTEN ÖVER TID HÄRSTAMMANDE FRÅN BERGKROSSMATERIAL (0–150 MM) MED VARIERANDE TOTALSVELINNEHÅLL (0,2–1,5 VIKT-%). TUNNA 1 OCH BERGHÖGEN ÅTERSPEGLAR NATURLIGA FÖRHÅLLANDEN, TUNNA 2 PÅSKYNDAD NATURLIG OXIDATION OCH TUNNA 3 VÄTEPEROXID FORCERAD OXIDATION MEDELST VÄTEPEROXID.

Sammanfattning:

Ingen signifikant pH-förändring över tid har påvisats i lakvattnen avseende Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen för de olika Batcharna. Baserat på föreliggande resultat har sulfidoxideringen ej påverkat lakvattnets pH, oberoende av bergmaterialets totalsvelinnehåll. Detta bekräftas även av lakvattnets ringa pH-variation och begränsade metallutlakning under försöksperioden för Tunna

Dokumenttitel: Storskaligt lakttest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

1, Tunna 2 och Berghögen. I lakvattnet för Tunna 3 väteperoxid påvisas en nedåtgående pH-trend över tid för bergmaterial med ett totalsvavelinnehåll mellan 0,7 – 1,5 vikt-% (Batch D, E och F). Det lägsta noterade pH-värdet på 3,1 påvisades för Batch F. Resultaten visar på att den tillsatta väteperoxiden har accelererat oxidationsprocessen i bergmaterialet för Batch D, E och F med låga pH-värden och förhöjd metallutlakning som påföljd.

9 Slutsatser

Det storskaliga lakttestet har pågått cirka 1,5 år för Batch B och cirka 1 år för övriga Batchar.

Baserat på hittills erhållna resultat kan man skönja att lakningspotentialen i Berghögen för samtliga Batchar är låg och bedöms försumbar. Berghögen återspeglar naturliga förhållanden där bergmaterial förvaras på upplag. Samma mönster kan även skönjas för Tunna 1, som syftar till att återspegla naturliga förhållanden. Lakvattnets pH, som representerar Berghögen och Tunna 1, uppvisar begränsad variation under försöksperioden för samtliga Batchar. Föreliggande resultat visar att oxidationen av bergmaterialens ingående sulfidmineral ej påverkar lakvattenkvaliteten, detta oberoende av materialens totalsvavelinnehåll. Materialet är således stabilt under naturliga förhållanden och testets tidsperiod.

Det förefaller som att utlakningspotentialen för majoriteten av ämnen i Tunna 2, som återspeglar naturligt påskyndad oxidation, generellt är i paritet med Tunna 1 och Berghögen. Lakvattnets pH, som representerar Tunna 2, uppvisar även begränsad variation under försöksperioden. Den utlakade mängden av vissa ämnen kan vid specifika provtagningstillfällen vara aningen högre jämfört med Tunna 1 och Berghögen. Detta kan dels vara relaterat till det naturligt påskyndade oxidationsförloppet genom artificiell bevattning, dels till följd av den tillsatta enhetsvolymen vatten som ger upphov till en så kallad utsköljningseffekt av ämnen från materialet till lakvattnet. Utifrån erhållna resultat har de ökade våtcyklerna haft marginell påskyndande effekt på utlakningen av ämnen respektive inverkan på pH, detta oavsett svavelhalt. Materialet bedöms därav stabilt under dessa förhållanden och testets tidsperiod.

Lakningspotentialen i Tunna 3 väteperoxid är kraftigt förhöjd i förhållande till övriga lakttester; detta stämmer väl överens med testets hypotes. Lakvattnets pH, som representerar Tunna 3 väteperoxid, uppvisar även en nedåtgående trend över tid för Batch D, E respektive F. pH i lakvattnet är generellt 2–4 enheter lägre jämfört med de övriga laktesterna, som representerar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) och naturligt påskyndad oxidation (Tunna 2). Majoriteten ämnen är flera tiopotenser högre i utgående lakvatten avseende Tunna 3 väteperoxid jämfört med lakvatten från Tunna 1, Tunna 2 och Berghögen. Denna skillnad är mest uppenbar i Batch D, E respektive F. Resultaten påvisar att det tillsatta oxidationsmedlet har accelererat sulfidoxidationsprocessen i materialen i och med den kraftiga pH-sänkningen över tid. Den accelererade oxidationsprocessen har påtagligt ökat materialens reaktivitet samt urlakningspotentialen och bedöms därav baserat på föreliggande resultat (perioden 2023–2024) överskatta materialens benägenhet att producera surt och metallrikt lakvatten under naturliga omständigheter.

Sammanfattningsvis visar de erhållna resultaten för perioden 2023–2024 att tester som simulerar naturliga förhållanden (Tunna 1 och Berghögen) och påskyndad naturlig oxidation (Tunna 2) inte producerar surt eller metallrikt lakvatten, oavsett svavelhalt i bergmaterialet.

Dokumenttitel: Storskaligt laktest av bergmaterial från Nya tunnelbanan	Rev. datum: -	Rev: -
Nya tunnelbanan	Diariernr: FUT 2022-0928	Infoklass: K1

De slutsatser som kan dras utifrån hittills erhållna resultat är att normal hantering av krossade bergmassor inte utgör någon risk för urlakning och utgör ingen risk för oacceptabla negativa effekter på miljö och eller människa under tidsperioder motsvarande testets varaktighet.

Det storskaliga laktestet kommer att fortsätta i ytterligare två år och därefter kommer en slutrapport att publiceras. Slutrapporten omfattar erhållna lakvattenresultat från samtliga Batchar över en längre tidsserie (2023–2026). De fortsatta studierna förväntas ge ytterligare insikter som kan bidra till att optimera hanteringen av entreprenadberg.