

Masshantering

Hantering av risk för sulfidhaltiga bergmassor i utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm

Titel: Masshantering – Hantering av risk för sulfidhaltiga bergmassor i utbyggnad av tunnelbana i Stockholm

Författare: Hanna Nordin von Platen, Alexander Sehr och Karl Persson

Projektledare: Stefan Persson

Dokumentid: 1410-P11-32-00001

Diarienummer: FUT 2020-0620

Utgivningsdatum: 2020-03-16

Distributör: Region Stockholm, förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
1.1	Syfte	4
2	Bakgrund	4
3	Allmänt om sulfider	5
3.1	Sulfider i berggrunden.....	5
3.1.1	Potentiella risker med sulfider	5
3.1.2	Neutraliseringsförmåga	6
4	Stockholms geologi	6
5	Erfarenhet från andra projekt	6
6	Riskhantering av sulfider.....	7
6.1	Steg 1 – Inventering	7
6.2	Steg 2 – Provtagning.....	8
6.3	Steg 3 – Klassificering	8
6.4	Steg 4 – Eventuella skadeförebyggande åtgärder.....	9
6.5	Steg 5 – Kontrollprogram	9
7	Referenser.....	10
8	Bilagor.....	11
	Bilaga 1 - ABA-test.....	11
	Bilaga 2 - Fuktkammarförsök.....	12
	Bilaga 3 - Geologisk översiktskarta	13

1 Inledning

I 2013 års Stockholmsförhandling beslutades att tunnelbanan ska byggas ut för att på ett hållbart sätt möta Stockholmsregionens framtida tillväxt. I avtalet ingår 20 kilometer ny tunnelbana och elva tunnelbanestationer. Region Stockholm (tidigare Stockholms läns landsting, SLL) ansvarar för tunnelbanans utbyggnad genom Förvaltning för utbyggd tunnelbana (FUT). Förvaltningens uppdrag är att genomföra tunnelbanans utbyggnad. I uppdraget ingår också planering och projektering av nya fordonsdepåer samt upphandling av signalsystem och vagnar.

Utbyggnaden av tunnelbanan innebär att bergmassor kommer att behöva schaktas, då tunnlar och stationer är förlagda i berg inom alla utbyggnadsgrenar. Region Stockholm har därför tagit fram en masshanteringsplan som anger hur bergmassorna ska hanteras och användas i pågående och kommande tunnelbaneprojekt. I Stockholmsområdet pågår många infrastrukturprojekt som genererar samt konsumerar stora mängder bergmaterial. Det genererade bergmaterialet bör därför ses och behandlas som en naturresurs. Målsättningen är att återanvända allt uttaget bergmaterial i närliggande projekt vilket leder till minskad miljöbelastning med hänsyn till kortare transportsträckor och reducerad brytning av orört berg.

All berggrund innehåller varierande inslag av grundämnet svavel. I det fall svavel förekommer som sulfid kan det finnas risk för att svavel kan urlakas när det kommer i kontakt med vatten och syre, vilket i sin tur kan försura omgivande mark och vattendrag. Vid förekomst av höga halter sulfider behövs vidare undersökning av bergmassorna med avseende på försurningspotential innan bergmaterialet kan användas.

1.1 Syfte

Syftet med föreliggande rapport är att beskriva hur Region Stockholm arbetar med kartläggning av sulfidhaltigt berg och framtagande av erforderliga åtgärder för masshanteringen av sulfidhaltigt berg.

Rapporten beskriver följande:

- 1) Förekomst av sulfider i Stockholmsområdet.
- 2) Erfarenheter från andra projekt med avseende på sulfidhaltigt berg under liknande förutsättningar.
- 3) Förslag till hantering, som omfattar identifiering, klassificering, eventuella skyddsåtgärder och kontroller.

2 Bakgrund

Att stöta på och hantera sulfider i jord och berg är inget nytt för infrastrukturprojekt. Det är dock ovanligt att sulfidhalterna är så höga att de innebär risk för försurning och urlakning av metaller.

Sulfidjordar har under en längre tid varit ett tekniskt- och miljömässigt problem i samband med utförande av projekt, framförallt längs Norrlandskusten och Mälardalen. För hantering av sulfidjordar finns dokument framtagna av bland annat Sveriges geologiska undersökning *Sura sulfatjordar och metallbelastning* (SGU, 2006) och Vägverket (nuvarande Trafikverket) *Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor* rapport 2007:100 (Vägverket, 2007).

Rapporterna är framställda för att underlätta arbetet med sulfidjordar för bland annat projektörer, utförare och tillsynsmyndigheter.

Trafikverket har upprättat en kunskapssammanställning för hantering till stöd för konsulter i frågan om sulfidförande bergarter i framtida infrastrukturprojekt (Trafikverket, 2015). Då dokumentet fått oväntad spridning och tillämpning än dess ursprungstanke så utför Trafikverket en revidering av dokumentet med start under 2020. Jämfört med sulfid i jord, har inte förekomst av sulfid i berg varit ett omfattande problem. Branschereferensen är således inte lika ingående som motsvarande erfarenheter av sulfidjordar.

3 Allmänt om sulfider

3.1 Sulfider i berggrunden

En bergart är uppbyggd av flera mineraler som är definierade av deras kemiska sammansättning och kristallstruktur. Mineralerna kännetecknas av dess specifika fördelning av olika färger och strukturer. Bland de närmare 5000 kända mineralerna så är det endast en handfull av de som bygger upp de vanligaste bergarterna. Dessa mineraler kallas bergartsbildande varav de vanligaste är kvarts, plagioklas och kalifältspat, ljus och mörk glimmer (muskovit respektive biotit).

En sulfidbärande berggrund innebär att berget innehåller sulfider (svavelföreningar) som är bundet till en metall t ex järn, koppar, bly eller zink. Sulfidmineral förekommer i många bergarter med varierande halter beroende på diverse processer som varit verksamma under dess bildning eller vid senare tillfällen. Större koncentrationer av sulfidmineral beror på att malmbildande processer varit särskilt gynnsamma inom ett specifikt område. I Sverige finns det ett fåtal kända områden med förhöjda sulfidhalter i berggrunden, då framför allt i sulfidmalmer som finns till exempel i Bergslagen och Skelleftefältet.

Det vanligast förekommande sulfidmineralet är pyrit (FeS_2 , svavelkis). Pyrit förekommer ofta i sedimentära bergarter och som sprickmineral. Pyrit går ofta att urskilja med blotta ögat, och är lätt att känna igen på dess karakteristiska kubiska kristallform och starkt metallglänsande lyster. Således är pyrit en bra första indikator på om bergarten är sulfidförande. Andra, något mindre vanliga sulfidmineral, är till exempel kopparkis, zinkblände och magnetkis. Oxidation av de olika sulfiderna är varierande och är således av betydelse för hur snabbt försurningen av dag- och grundvattnet sker. Oxideringen av svavelkis är relativt långsam jämfört med andra sulfider (Karlsson et al, 2018). Oxideringen beror främst på hur hårt bundet svavlet är till katjonerna dvs. metallerna.

3.1.1 Potentiella risker med sulfider

Metallurlakning och försurning av miljön är naturliga processer som sker i anknytning till sulfidförande berggrunder. Om bergarten innehåller en stor andel sulfidmineral, vilket är sällsynt i Stockholmsområdet, kan det medföra miljökonsekvenser när mineralet urlakas. Vittring av sulfidmineral uppstår då bergmaterialet exponeras för syre och vatten. Vid urlakning av vittringsprodukter från sulfidmineral sänks omgivande pH-värde på grund av oxidation, vilket kan orsaka försurning av mark och vatten i närområde. Vidare innebär oxidationsprocessen att det mineral som svavlet är bundet till frigörs, vilket också påverkar vattenkvaliteten. Den resulterande påverkan beror på hela bergets sammansättning, bergmassans mängd, kornstorlek samt rådande omgivningsförhållanden, till exempel känsligheten hos recipienten. Hur stor miljöpåverkan blir

beror på hantering av massorna och lakvatten samt upplagets topografiska och de hydrogeologiska förutsättningarna.

3.1.2 Neutraliseringsförmåga

Den försurande effekten av sulfider kan naturligt motverkas av buffrande mineraler i berget. Silikater och karbonater är de vanligen förekommande buffringsmineral i bergarter. Silikater som fältspat, muskovit, biotit, kvarts är bergartsbildande för både granit och sedimentådergnejs. Hela Stockholmsgeologin är således buffrande. Vidare återfinns karbonater i sedimentådergnejs och granit i sprickor och ådror. Karbonaterna förekommer i ringa omfattning i jämförelse med silikaterna. Karbonaters buffringsförmåga mäts i ABA-tester (Acid-Base accounting, se Bilaga 1). Det finns ingen motsvarande analys för silikaters buffrande förmåga. Bergets totala buffrande förmåga bestäms därför med hjälp av fuktkammarförsök.

4 Stockholms geologi

Stockholms berggrund domineras av metamorfa sedimentådergnejsar och granit (Bilaga 3). Sedimentgnejsen har skapats av leriga och sandiga sediment som utsatts för metamorfos och bildat en gnejsig/ådrig (bandad) struktur genom förhöjda temperaturer och tryck. Ådringen definieras av ljusa kvarts-fältspatsrika band varvat med mörkare glimmerrika band. Sedimentådergnejsar förekommer på många håll inom Sverige och är ej specifikt knutna till Stockholmsregionen. Sulfidhalter i sedimentådergnejs är vanligtvis små i jämförelse med mer vanligt förekommande sulfidhaltiga bergarter såsom de vulkaniska bergarterna ryolit och dacit. Denna bergartskombination finns närmast på Utö i Stockholms sydöstra skärgård. Sulfidhalter i de vulkaniska bergarterna i Stockholmsområdet är dock mycket små i förhållande till sulfidhalter inom de områden där gruvdrift förekommer. Där gruvdrift sker är sulfidhalten normalt många gånger större än de mest sulfidförande bergarterna inom Stockholmsområdet.

5 Erfarenhet från andra projekt

Under de senaste 20 åren har förekomst av sulfider i berggrunden, som potentiellt kan orsaka försurning, konstaterats vid ett fåtal tillfällen i anläggningsprojekt. Nedan beskrivs dessa fall kortfattat med hänsyn till orsak samt hantering. Långtidspåverkan av de utförda hanteringsmetoderna är inte fastställda.

Albyberg – Haninge kommun

År 2012 påbörjades markberedning för Albyberg företagspark beläget i Haninge kommun. Arbetet innebar att stora mängder berg behövde sprängas samt vegetation röjas. Sprängmassorna krossades och användes som fyllnadsmaterial inom projektet. Under 2013 uppmättes förhöjda halter av metaller samt sänkt pH-värde i ytvattenrecipienten Husbyån, som är lokaliserad nedströms arbetsområdet. Husbyån är en klassad vattenförekomst och har därför definierade miljö kvalitetsnormer. För att återställa pH-balansen installerades sedimentationsbassänger och kalk tillsattes i vattnet. Åtgärderna fick inte önskad effekt utan vidare utredning tillsattes för att utreda föroreningskällan. Utredningen innefattade geologisk kartering, geofysiska undersökningar och kemisk analys av jord och berg. Slutligen härleddes föroreningskällan till att sulfider från berggrunden och siltrika jordar som oxiderat i samband med sprängning och hantering av jord- och bergmassorna.

Ekobacken – Värmdö kommun

Värmdö kommun inledde 2008 en detaljplanering för byggnation av företagspark med industriell verksamhet i *Ekobacken*. Det utförda arbetet innebar att vegetation avverkades, jord och berg schaktades och sprängdes bort inför byggnation. Det schaktade berget för företagsparken har visat sig innehålla sulfidhaltigt bergmaterial vilket orsakat förorenat och försurat dag- och grundvatten.

Botniabanan - Bollstabruk

Under drivningen av Botniabanan vid Snaraberg och Hallebergstunneln utanför Bollstabruk, strax norr om Härnösand, så stötte projektet på sulfidförande berg. Den sulfidförande sprängstenen krossades inte ned i mindre bitar utan fördes direkt till ett upplag i närheten. Upplaget lades ovanpå en geotextil för att förhindra infiltration av lakvatten till grundvattnet. Runtom upplaget konstruerades ett tätt lerdike som var utformat för att fånga upp allt lakvatten som passerade genom upplaget. En pH-mätare monterades som kontinuerligt mätte pH i lakvattnet. Efter ungefär ett år hade pH-nivåerna blivit neutrala och bergmassorna kunde återanvändas.

6 Riskhantering av sulfider

För att identifiera och hantera eventuella sulfider i bergmassorna vid utbyggnaden av tunnelbanan behöver arbetet ske stegvis. Inledningsvis sker undersökning av de geologiska förutsättningarna i området, i syfte att kartlägga potentiell förekomst av sulfider. Undersökningarna ska vara av den typ som möjliggör en översiktlig bedömning av bergmassornas kemiska sammansättning och dess möjliga miljökonsekvenser. Föreliggande undersökning- och hanteringsmetodik avseende sulfider i bergmassor syftar till att tydliggöra risker samt definiera en handlingsplan i förundersökningskedet huruvida uttagna bergmassor kräver särskild behandling. Metodiken är uppdelad i följande steg:

1. Inventering - Identifiering av de geologiska förutsättningarna, påvisa förekomst av sulfider.
2. Provtagning - Vid förekomst av sulfider utförs provtagning för att kunna bedöma risken med att schakta ut sulfidförande berggrund.
3. Klassificering - En förberedande handlingsplan för hantering och kontrollprogram baserat på den platsspecifika arbetsplatsen.
4. Eventuella skadeförebyggande åtgärder.
5. Kontrollprogram.

6.1 Steg 1 – Inventering

Det första steget innebär inventering och insamling av befintligt material för att påvisa förekomst av sulfider och identifiera möjliga miljörisker som följer av berguttag. Inventeringen inkluderar inhämtandet av geologiskt material såsom SGU:s kartor, geologisk kartering berghällar och borrhävar samt eventuella kemiska analyser med avseende på svavel från angränsande och korsande projekt. Denna information är värdefull för klassificering och bedömning av framtida hantering av de uttagna bergmassorna samt att identifiera möjliga miljörisker som följer av berguttag. Om det första steget inte påvisar någon förhöjd risk för sulfidförande berg så dokumenteras detta och inga ytterligare steg utförs. I annat fall utförs steg två.

6.2 Steg 2 – Provtagning

Det andra steget i undersökningen innefattar provtagning och analys. Provtagningen anpassas geografiskt utifrån de bedömningar som gjorts i steg ett för att erhålla en representativ bild av berggrundens sulfidhalter.

Rekommenderade tester för provtagning i detta skede är i första hand statistiska tester och därefter kinetiska tester. Exempel på statistiska tester är totalsvavelsulfidtest och laktest (ABA-test), och kinetisk test är fuktkammarförsök.

Provresultaten ger halter och beteende av de kemiska sammansättningarna i berget. Detta ger en indikation på vilka kemiska processer som kan förväntas, så som försurningsförmåga och urlakning av metaller. Informationen är värdefull för bedömning av potentiella miljörisker som kan förväntas vid hantering av bergmassor. Genom en sammanvägd bedömning av de geologiska undersökningarna och den mer detaljerade provtagningen, i detta steg, erhålls en indikation på bergets specifika sulfidföreningar och benägenhet att urlaka metaller. Beroende på utfallet kan specifika åtgärder vidtas för att minimera miljöriskerna vid hantering av bergmassorna (steg fyra).

6.3 Steg 3 – Klassificering

Steg 3 innefattar klassificering av sulfidernas potentiella miljöpåverkan som bygger på den översiktliga geologiska bedömningen och den provtagning som har genomförts i steg 1 och steg 2.

För att erhålla en initial uppfattning om bergets sulfidförande förmåga kan totalsvaveltester utföras på stufprov från hållar eller borrhål. Enligt svenska förordningen SFS 2013:319 6§ anges att bergmaterialet är inert (icke försurande) om sulfidsvavelhalten är <0,1%. Vid högre totalsulfidsvavelhalter behöver bergets neutraliserande förmåga inkorporeras i bedömningen om potentiell syrabildande potential.

Bergets buffrande förmåga bestäms genom att mäta dess syrabildande potential mot dess neutraliserande potential. Karbonaternas neutraliserande förmåga mäts lättast med hjälp av ett ABA-test. Det finns inget motsvarande ABA-test för silikater. Däremot kan ett fuktkammarförsök tillämpas för att mäta silikaters och karbonaters totala neutraliserande förmåga.

Fuktkammarförsöket är mer omfattande jämfört med ABA-testet och tillämpas då ABA-testerna visar på en försurande miljö. Fuktkammarförsöket syftar till att ge en realistisk bild över hur berget kommer bete sig över en hundraårsperiod i en oxiderande miljö (se Bilaga 2).

Fuktkammarförsöket är en mer tidskrävande analysmetod än ABA-tester men är bättre lämpad i Stockholmsområdet där berggrunden i huvudsak består av silikater.

För att underlätta hantering av bergmassor har dess potentiella miljöpåverkan och åtgärder delats in i tre olika kategorier och tilldelats ett gränsvärde.

- Icke försurande miljöpåverkan.
- Osäker miljöpåverkan – vidare undersökning krävs.
- Försurande miljöpåverkan – åtgärder bör vidtas.

För försurningspotential används kvoten mellan neutraliseringspotentialen och syrabildningspotentialen ($NPR = NP/AP$) för bestämning om surt lakvatten kommer att kunna utvecklas eller inte. Vid utvärderingen av NPR används följande kvoter inom gruvindustrin (NGI, XX; SFS 2013:319 6§).

- < 1 Materialet är syrabildande
- 1–3 Möjlig risk för syrabildning
- > 3 Ingen risk för syrabildning

Gränsvärdet bygger på bergmassornas potentiella försurningspotential. För att få bättre översikt över berggrundens eventuella sulfidförekomst så delas den planerade utbyggnaden in i sektioner om hundra meter. Klassning sker enbart för områden med utpekad risk enligt steg ett och två. Sektioner med utpekad risk går vidare till steg fyra och fem.

6.4 Steg 4 – Eventuella skadeförebyggande åtgärder

I de sektioner längs utbyggnaden där det föreligger risk för att det finns syrabildande material utförs skadeförebyggande åtgärder. Åtgärderna består i:

- Särskilda upplag anordnas, med tät botten och uppsamling av dagvatten från upplaget. För upplagen sker enligt anmälan till berörd kommun enligt miljöbalkens nionde kapitel.
- Bevattning av upplaget utförs eventuellt för att påskynda urlakning.
- Inte krossa ned massorna.
- Dagvattnet pH-justeras innan det släpps ut/infiltreras i marken (lokalt omhändertagande)
- Materialet får ligga kvar tills dagvattnet har ett neutralt pH.
- Materialet återanvänds därefter i andra anläggningsprojekt i närområdet.
- Använda lokalt buffrande jordmån som grund för upplag.
- Alternativ hantering i syrefri och isolerad miljö.

6.5 Steg 5 – Kontrollprogram

Ett kontrollprogram upprättas för de syrabildande massorna. Kontrollprogrammet omfattar geologisk kartering i sprängfronten, vattenkemisk provtagning av dagvatten från upplagsytor och grundvatten i omgivningen, samt analys av dagvatten efter eventuell pH-justering. Samråd om kontrollprogrammet utförs med berörd tillsynsmyndighet.



7 Referenser

Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Jambor, J. L., & Weisener, C. G. (2003). The geochemistry of acid mine drainage. *Treatise on geochemistry*, 9, 612.

British Columbia Acid Mine Drainage Task Force (1989) Draft Acid Rock drainage technical guide, Vol. 1, British Columbia Acid Mine Drainage Task Force Report.

EU-kommissionen (2004). Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities

Jambor, J.L. m fl. (2000) Contribution of Specific Minerals to the Neutralisation Potential in Static Tests. Leslie Research and Consulting, CANMET

Karlsson, T., Räisänen, M. L., Lehtonen, M., & Alakangas, L. (2018). Comparison of static and mineralogical ARD prediction methods in the Nordic environment. *Environmental monitoring and assessment*, 190(12), 719. doi:10.1007/s10661-018-7096-2

Li, M.G. (2000) Acid Rock Drainage Prediction for Low-Sulfide, Low-Neutralisation Potential Mine Wastes. Noranda Inc.

Sobek, A. m fl. (1978), Field and laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoil, (West Virginia Univ., Morgantown College of Agriculture and Forestry): EPA report no. EPA-600/2-78-054.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) (2006). Sura sulfatjordar och metallbelastning. Metal load from acid sulphate soils) Geological Survey of Sweden Report, 5.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), (2019). Hämtad: <https://www.sgu.se/produkter/kartor/kartgeneratorn/> [2019-12-20]

Trafikverket (2015). Handbok för hantering av sulfidförande bergarter. Dok id: 2015:057

Vägverket. (2007). *Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor*. Publikation 2007:100.

WSP. (2017). Utökad depåkapacitet Högdalen Systemhandling. Förutsättningar – Ingenjörsgelogisk prognos. Dok id: 5320-B51-24-02032

WSP. (2019) 5713 Anslutningsspår berg och anläggning – Analys av Sulfidförande bergarter. Dok id: 5713-B51-23-00001



8 Bilagor

Bilaga 1 - ABA-test

ABA-tester är ett samlingsnamn för ett antal olika metoder som används för att uppskatta risken för att sura lakvatten, innehållande bland annat lösta metaller, ska bildas ur bergmaterial. Den i Sverige vanligast använda metoden är den sk Sobek-metoden, beskriven i en rapport från EPA (USA Environmental Protection Agency) (Sobek, 1978). I ABA-tester (Acid Base Accounting) bestäms ett materials syrabildande potential (AP) och materialets neutraliseringspotential (NP). Resultatet uttrycks i kg CaCO₃/ton. ABA-försök är s.k. statiska försök, dvs försök där försurningspotential bestäms. Testerna säger dock inget om när produktionen av surt lakvatten potentiellt kan inträffa. Med dessa tester erhålls en uppfattning om ett material kommer att producera surt lakvatten, men inte när det skulle inträffa.

ABA-testerna inleds med ett s.k. ”fizz”-test. Vid ”fizz”-testet tillförs enstaka droppar saltsyra på en mindre del av ett mineralprov som ska undersökas. Reaktionsgraden vid detta test styr sedan vilken volym saltsyra som ska tillföras provet. Två gram finmalt prov (<60 mesh) blandas med saltsyran och hettas upp till nära kokpunkten. Efter tillsats av destillerat vatten kokas blandningen i en minut, varefter titrering görs till pH 7 med natriumhydroxid. Från denna procedur erhålls data för att kunna beräkna neutraliseringspotentialen (NP). Den syrabildande potentialen (AP) beräknas med kunskap om bland annat svavelinnehåll, här i form av sulfider. Om större delen av materialet innehåller sulfider och mycket lite sulfater, så kan hela svavelhalten användas för beräkningar. Annars krävs bestämning av andelen sulfider respektive sulfater i svavelmaterialet.

Government of British Columbia, Kanada, förordar i sina riktlinjer ett inledande test där potentiellt syrabildande gruvavfall identifieras med avseende på dess innehåll av sulfid-svavel. Testet säger att ”material med ett innehåll av sulfid-svavel lägre än 0,3 % och ett pH högre än 5,5 inte kräver ytterligare test och är säkert att utvinna, såvida det inte finns några andra metalläckage”. Här är det viktigt att komma ihåg att det inte bara går att fokusera på andelen sulfid-svavel (Li, 2000), då det bevisligen har producerats surt lakvatten från material med sulfid-svavel-halter motsvarande 0,05%-0,1%. Detta är dock mycket sällsynt. Genom att subtrahera materialets syrabildande potential från materialets neutraliseringspotential går det att bestämma materialets netto-neutraliserande potential (NNP). I vissa delar av Kanada tillämpas följande bedömning (Jambor, 2000):

- Materialet är syraproducerande då $NNP < -20$ kg CaCO₃/ton.
- Materialet är inte syraproducerande då $NNP > 20$ kg CaCO₃/ton
- I intervallet -20 och 20 kg CaCO₃/ton är det osäkert om materialet kommer att bilda surt lakvatten eller inte.

Idag används oftast kvoten mellan neutraliseringspotentialen och syrabildningspotentialen ($NPR = NP/AP$) för bestämning av om surt lakvatten kommer att kunna produceras eller inte. Vid utvärderingen av NPR används följande kvoter (NGI, XXX; SFS 2013:319 6§):

- < 1 Materialet är syrabildande
- 1–3 Möjlig risk för syrabildning
- > 3 Ingen risk för syrabildning¹

I svenska förordningen SFS 2013:319 6§ anges att massorna är inerta om sulfidsvavelhalten är <0,1% eller om sulfidsvavelhalten uppgår till 1% men har neutraliseringspotentialkvot på över 3 med statisk provtagning enligt SS-EN 15875:2011. Resultatet från ABA-testet kan emellertid hamna inom en gråzon (1–3) där det fortfarande är osäkert om surt lakvatten kommer att bildas eller inte.

Neutraliseringspotentialen som bestäms genom ABA-tester kan till viss del överskattas jämfört med den faktiska neutraliseringspotentialen. I det fall kvoten NPR från ABA-testet hamnar i gråzonen, mellan 1 och 3, kan man genomföra fuktkammarförsök för att säkerställa om materialet kommer att generera surt lakvatten eller ej.

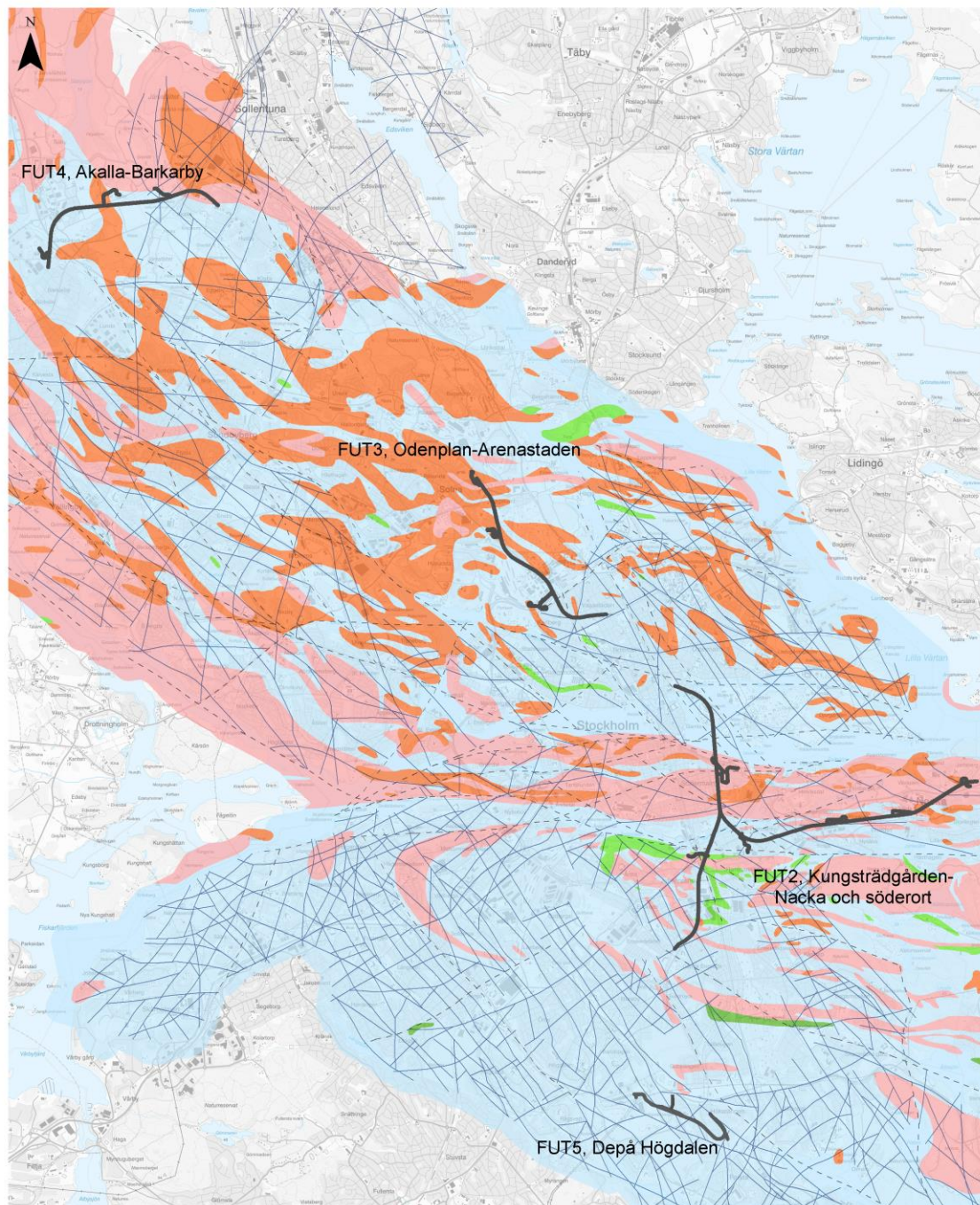
Bilaga 2 - Fuktkammarförsök

Kinetiska tester används för att förutsäga långtidseffekter från vittring. Humidity Cell (eller fuktkammarförsök) är en av dessa metoder (British Columbia Acid Mine Drainage Task Force, 1989). Det finns en standard för fuktkammarförsök (Sobeck et al., 1978). Metoden innebär att ett och samma prov utsätts för oxidation och lakning vid upprepade tillfällen/cyklar. För material där storleken på de individuella bergartsfragmenten i verkligheten är större än det finkorniga materialet (<2 mm), som används under fuktkammarförsöken, bör man anse att resultatet anger ett värsta fall-scenario. Detta eftersom den reaktiva ytan hos de malda proverna har ökat vilket orsakar en snabbare oxidation av provet.

För att utföra fuktkammarförsök så placeras 200 g av materialet i en syratvättad plastlåda. Materialet skall vara finkornigt och mindre än 2 mm i diameter. Plastlådan har en in- och utgång för luft. Vid tilluftsöppningen kan man välja mellan fuktig och torr luft, ett filter sitter monterat innan tilluftsöppningen. Vid uppstart av försöket fuktas provet med ultrafiltrerat avjonat vatten. En cykel består av tre dagar med torr luft åtföljt av tre dagar med fuktig luft. På den sjunde dagen tillsätts 200 ml ultrarent vatten till provet. Efter en timme dekanteras vattnet och filtreras genom ett 0.22 µm filter. Lakvattnet analyseras sedan med avseende på pH, konduktivitet och redox efter varje omgång samt element efter varannan. Testerna genomförs under en standardperiod om 16 veckor men det går att få en indikation på huruvida provet är försurande efter ca 4 veckor.

¹ SFS 2013:319 6§

Bilaga 3 - Geologisk översigtskarta



© Lantmäteriet, Geodatasamverkan SLL, Open Stockholm

TECKENFÖRKLARING

Berggrund

- Gnejs, kvarts-fältspatrit av sedimentärt ursprung (2850-1870 miljoner år)
- Äldre granit, granodiorit, Huvudsakligen gnejsig struktur (2850-1870 miljoner år)
- Yngre granit, granodiorit m.m. Ställvis gnejsig struktur (1880-1740 miljoner år)
- Gabbro, diorit, diabas m.m. Huvudsakligen gnejsig struktur (2850-1870 miljoner år)
- Amfibolit, eklogit m.m. Intermediär omvandlad bergart (2850-1870 miljoner år)

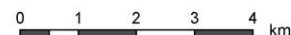
Svaghetszoner

- Krosszon
- Sprickzon

Nya tunnelbanan

Berggrundskarta

Datum: 2020-01-28
Skala (A4): 1:100 000
Koordinatsystem: SWEREF99 18 00
Ritad av: Sara Stahl



L:\uppgifter\GIS-4038 - SL\Specialized\geohydrologi\Ritning\GIS\Carta\Gemensam\Översiktskarta_bilagenade_tunneltäckor_berggrund_SAS.mxd