

PM PROVTAGNING AV BERG SULFIDPROVTAGNING

UPPDRAG Tunnelbanekvarteret Slakthusområdet	UPPDRAGSLEDARE Johan Fransson	DATUM 2020-10-05
UPPDRAGSNUMMER 12707535	UPPRÄTTAD AV Yuliya Zhuk	REVIDERAD 2021-08-19
FASTIGHET Sandhagen 2 i Slakthusområdet, Stockholm	GRANSKAD AV Iga Sagatowska	

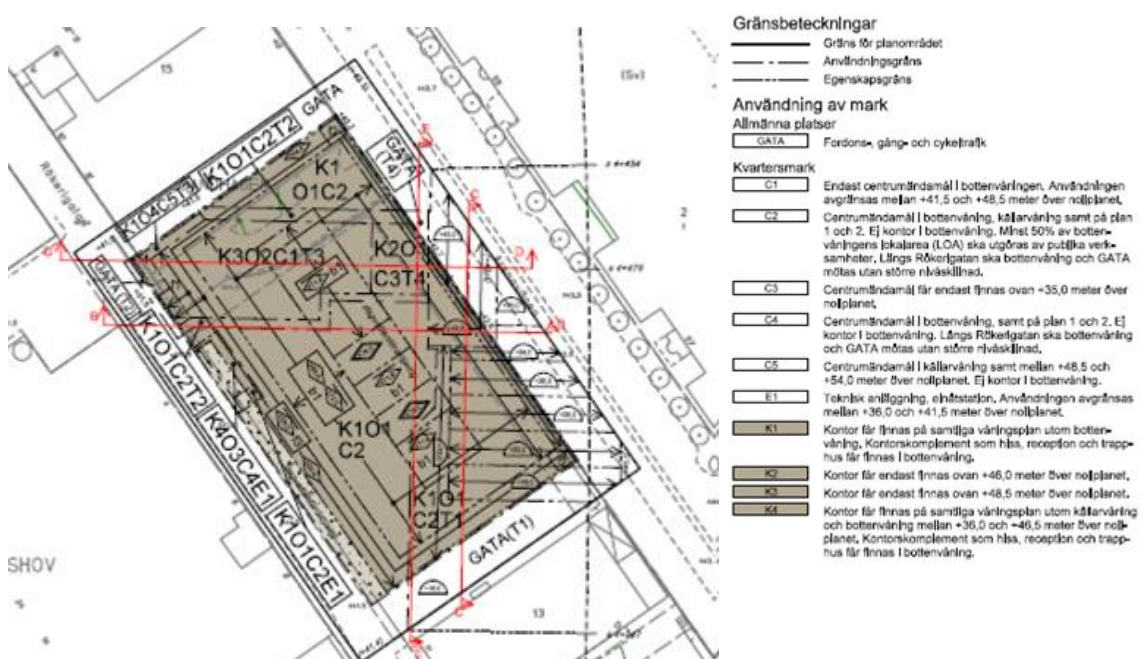
Innehåll

Uppdrag	3
Syfte	3
Sulfidförande berg	3
Styrande dokument och råd	4
Underlag	4
Riskhantering av sulfider	5
1. Inventering - Identifiering av de geologiska förutsättningarna, påvisa förekomst av sulfider	5
Befintliga förhållanden	5
Topografi och ytbeskaffenhet	5
Geologi	5
2. Metodik	7
Positionering	7
Provtagning	8
2. Provtagning	9
Geokemisk analys	9
ICP-OES	9
Sulfidsvavel	10
Försurningspotential	10
3. Klassificering	10
Resultat	10
Påverkan på grundvatten	11
ABA-analys	12
ABA-utförandet	12
Tolkning av ABA-resultat	13
ABA-testresultat	14
4. Eventuella skadeförebyggande åtgärder.	14
Eventuella skadeförebyggande åtgärder för materialet som har möjlig risk för syrabildning.	14

Materialiet som klassas som ingen risk för syrabildning	15
Referenser	16
Bilagor:	16

Uppdrag

På uppdrag av Atrium Ljungberg, har Sweco Civil AB utfört provtagning av berg omkring fastighet Sandhagen 2 i Slakthusområdet i Stockholm inför uppförande av ny byggnad. Den nya byggnaden kommer att innefatta den norra tunnelbanenedgången till den nya tunnelbanestation som ska byggas i Slakthusområdet. Inom området ska vatten- och avloppsledningar anläggas. Syftet med provtagningen är att undersöka om berget inom området är sulfidförande. Sulfidförande berg innebär att bergmaterialet kan ha försurande egenskaper, vilket är viktigt att ta i beaktning inför projekt med schaktarbeten där entreprenadberg produceras, då det kan påverka den framtida möjliga användningen och hanteringen av bergmassan.



Figur 1. Undersökningsområde.

Syfte

Provtagningens syfte är att analysera svavelhalter (försurningspotential) med geokemisk analys av bergprov för att identifiera sulfidförande berg för att skapa ett underlag till planhandlingarna. Analysresultatet visar sulfidinnehåll samt tungmetaller för samtliga prov, och kategoriseras enligt styrande dokument.

Sulfidförande berg

En sulfidförande berggrund innebär att berget innehåller sulfider (svavelföreningar) som är bundna till metaller t ex järn, koppar, bly eller zink. Större koncentrationer av sulfidmineral beror på att malmbildande processer varit särskilt gynnsamma inom ett specifikt område.

Sulfidmineraliseringar i bergmassan är stabila under reducerande förhållanden. Om bergmassan utsätts för syre och/eller vatten, så oxiderar sulfidmineraliseringarna, vilket kan orsaka vittring, syrabildning och metallutlakning. Vittring medför ett lägre pH-värde för lakvatten och en ökad mobilitet av metaller. Vittringshastigheten/pH-sänkningen (syrabildningen) beror på ett flertal faktorer, exempelvis: kornstorlek, temperatur, pH, vatten- och syretillgång samt mängden närvarande sulfidoxiderande mikrober [1] [2].



Figur 2. Ett exempel på sulfidförande berg. Källa: Trafikverket, "Handbok för hantering av sulfidförande bergarter"

Styrande dokument och råd

- Regeringskansliet, Förordning om utvinningsavfall, SFS 2013:319 6§). [Länk](#)
- Masshantering – Hantering av risk för sulfidhaltiga bergmassor i utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm, 2020-03-16, dokumentID: 1410-P11-32-00001. [Länk](#)
- SGF Geoteknisk Fälthandbok 1:2013.

Underlag

Följande underlag har använts för undersökningen:

- Google Maps och Eniro.se
- SGU geologiska kartor
- Markteknisk undersökningsrapport, MUR, Norra stationshuset: 12707535, Sweco, 2020
- PM Geoteknik Hydro och Markmiljö, Norra stationshuset – Slakthusområdet: 12707535, Sweco 2020
- Dagvattenutredning kvartersmark Tunnelbanekvarteret, Detaljplan 2D: 13011058, Sweco, 2021-06-09

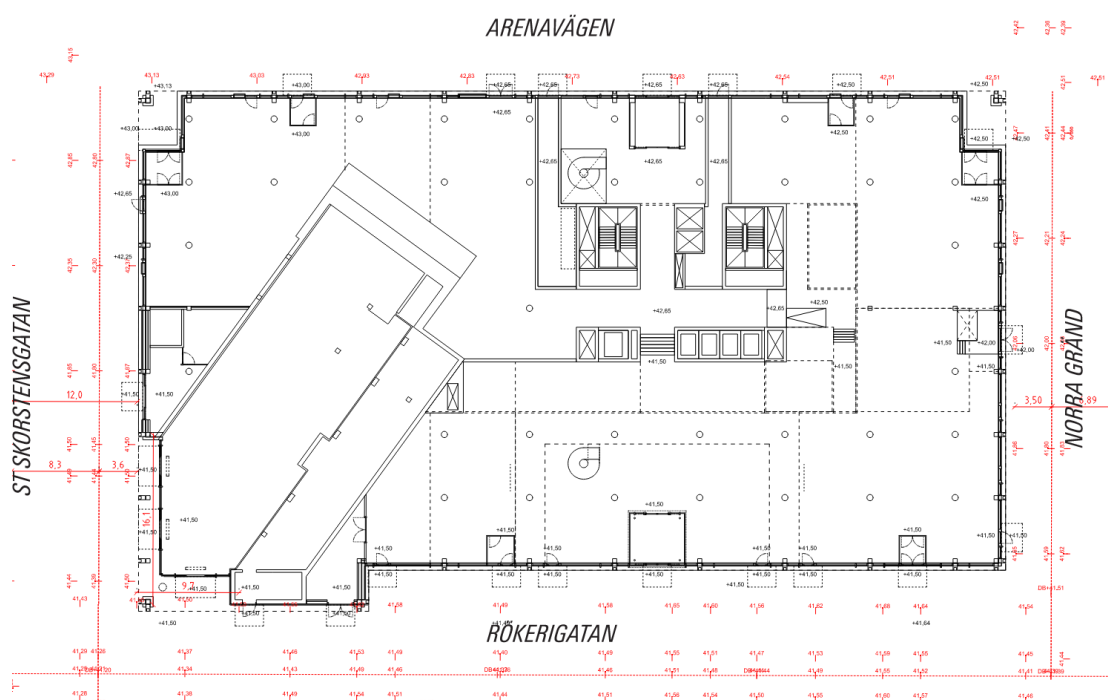
Riskhantering av sulfider

1. Inventering - Identifiering av de geologiska förutsättningarna, påvisa förekomst av sulfider

Befintliga förhållanden

Topografi och ytbeskaffenhet

Undersökningsområdet består av parkeringsytor, körbanor samt gång- och cykelbana, samtliga asfalterade. Marknivå i undersökta punkter uppe på gång- och cykelbanan varierar mellan drygt +43,5 och +43,9. Den undersökta delen av Rökerigatan är i princip plan med en nivå på ca +41,4. På parkeringsytan på baksidan av hus 6 faller markytan av åt nordväst från ca +41,8 till ca +40,2 i undersökta punkter.

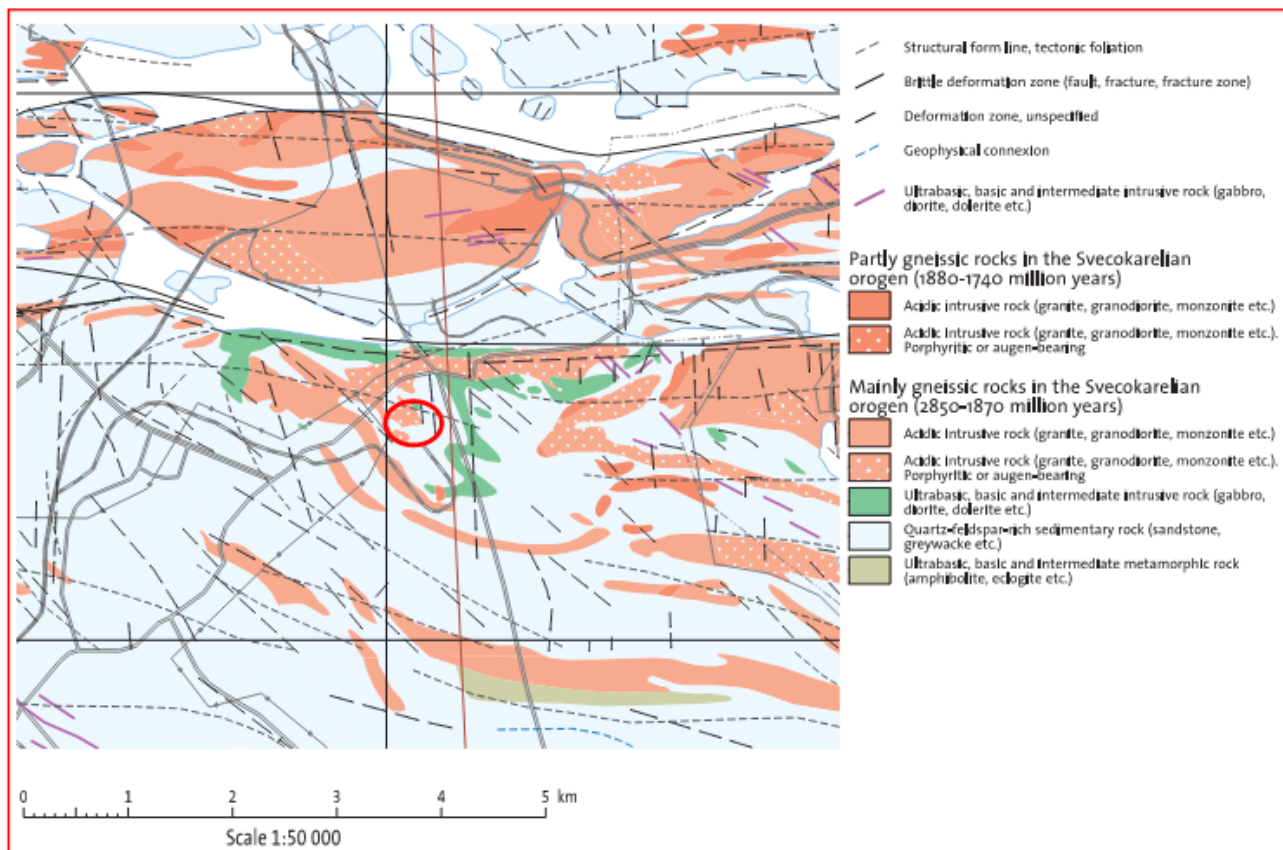


Figur 3. Topografi av undersökningsområdet

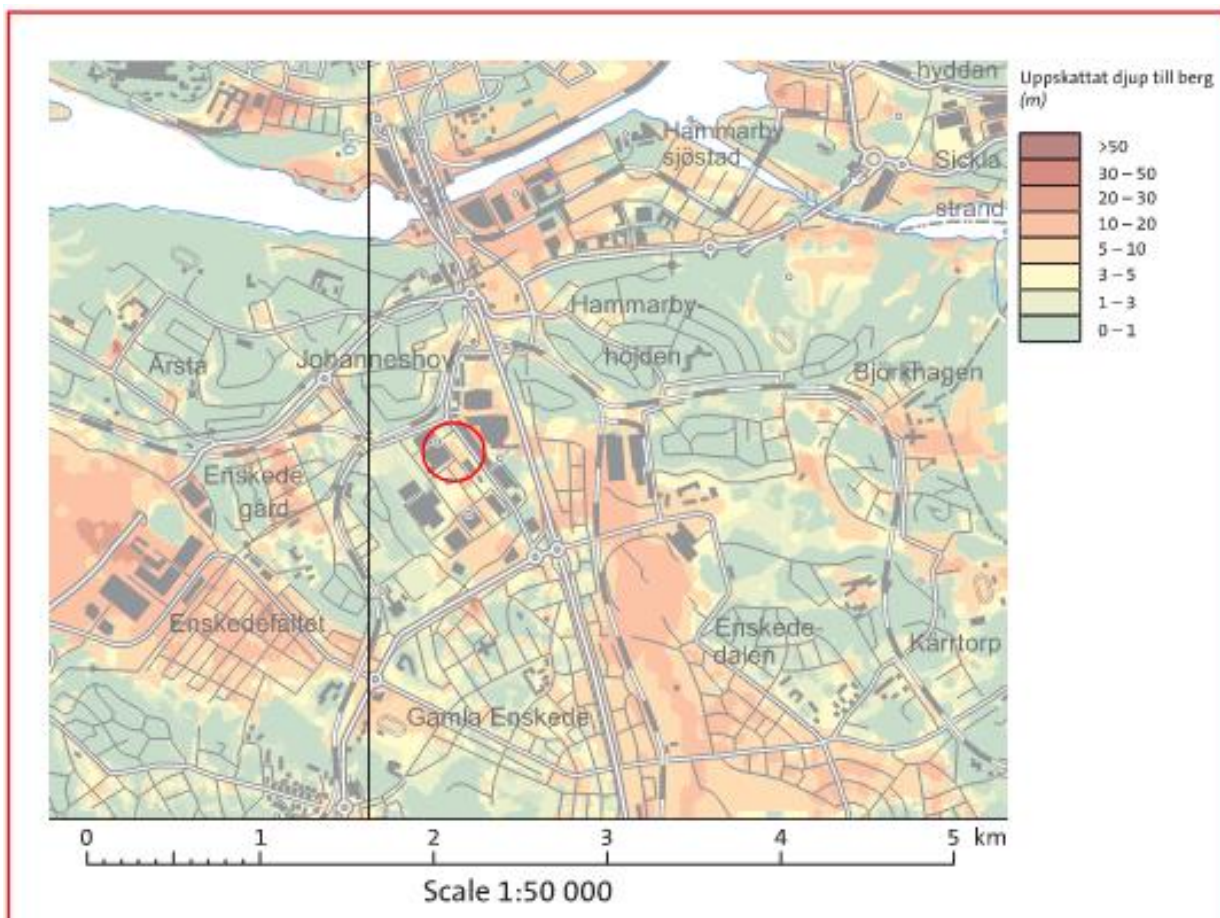
Geologi

Berggrunden inom planområdet varierar mellan granitiska bergarter och gnejs av sedimentärt ursprung.

Djupet till berg i läge för nytt hus varierar mellan ca 1 m i läge för parkeringsplatser mot Arenavägen till som mest ca 7 m i nordvästra hörnet på befintlig byggnad, ca nivå +34,5. Ett djupare parti påträffades även öster om befintlig byggnads sydöstra hörn med ett jorddjup på ca 4 m, bergnivå ca +38,1.



Figur 4. Röda ringen identifierar undersökningsområdet, SGU 2020.



Figur 5. Djup till berg, röda ringen identifierar undersökningsområdet SGU 2020.

2. Metodik

Positionering

För provtagning av sulfid sattes punkterna ut med GPS av fältpersonalet August Palm och Daniel Jonsson på Sweco. Utsättning av undersökningspunkterna har gjorts i mätklass A enligt SGF Geoteknisk Fälthandbok 1:2013.

Koordinatsystem i plan: SWEREF99 18 00

Höjdsystem: RH2000

Koordinater (x, y, z) för undersökningspunkterna redovisas i Tabell 1.

Proverna har tagits från borrhax vid jord-bergsondering. Placeringen för undersökningspunkterna justerades på plats efter lokalt rådande förhållanden, bergnivå och tillgänglighet. Schaktbotten befinner sig på +35.

Tabell 1. Provpunkter.

Prov ID	X	Y	Z (markyta)	Provdjup (m)
20S1501	6575355,618	154538,859	+39,659	2 (+38 - +36)
20S1502	6575310,499	154570,984	+41,633	4 (+38 - +34)
20S1503	6575300,329	154552,614	+38,904	2 (+37 - +35)
20S1504	6575335,906	154529,482	+39,003	2 (+37 - +35)

Provtagning

Sulfidprovtagning i berg har utförts över ett representativt område. Aktuella provtagningar omfattar 4 st bergprov, som utgörs av borrhax från jord-bergsondering vilka har dammsugits upp som samlingsprov under utförd bergkontroll. Proven är tagna ca 2-3 m under markytan ner till ca 4-6 m djup, se tabell 1 för provintervall. Tre prover av fyra är tagna under schaktbotten. Provtagningar har utförts med hjälp av geoteknisk borrhandsvagn av modell Geomachine 75.

8 (16)

PM PROVTAGNING AV BERG
SULFIDPROVTAGNING
TUNNELBANEKVARTERET
SLAKTHUSOMRÅDET



Figur 6. Översikt provtagningspunkter.

2. Provtagning

Geokemisk analys

ICP-OES

Analys för svavel (sulfid och total) samt tungmetaller utfördes på samtliga 4 provpunkter med ICP-OES. Provberedning, upplösning och analys av kaxproverna utfördes hos Sweco Geolab, Stockholm. Provberedningen utfördes genom tryckkokning med 7 M HNO₃ vid 120 °C och 150 kPa. Resultatet för svavelhalter presenteras i Tabell 2. [bilaga i Markteknisk undersökningsrapport, MUR, Norra stationshuset: 12707535, Sweco, 2019]

Sulfidsvavel

Tabell 2. Provresultat för svavelhalten i respektive prov mg/kg TS.

Prov	Svavel (Sulfid)	Svavel (Total)	Enhet
20S1501	740	740	mg/kg
20S1502	2200	2200	mg/kg
20S1503	1500	2000	mg/kg
20S1504	2500	2500	mg/kg
Resultat för sulfidsvavel \geq 1000 mg/kg TS (värde enligt SFS 2013:319 §6)			

Försurningspotential

Förordningen om utvinningsavfall, SFS 2013:319 6§, anger nivån för svavelhalt (sulfidsvavel), för klassning av utvinningsavfall som inert, till 0,1 procent (1000 mg/kg TS), eller 1 procent sulfidsvavel, om avfallets neutraliseringspotentialkvot är större än 3, beräknad som kvoten mellan neutraliseringspotentialen och syrapotentialen vid en statisk provning enligt standarden SS-EN 15875:2011 [5]. Se Tabell 4 för riktvärden enligt SFS 2013:319 6§.

Tabell 3. Riktvärden enligt SFS 2013:319 6§.

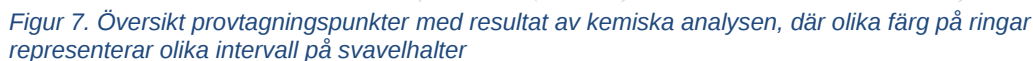
Halt	mg/kg TS (ppm)
Klassas som inert avfall om svavelhalt (sulfidsvavel)	<1000
Klassas som inert avfall vid NPR > 3 om svavelhalt (sulfidsvavel)	<10 000

3. Klassificering

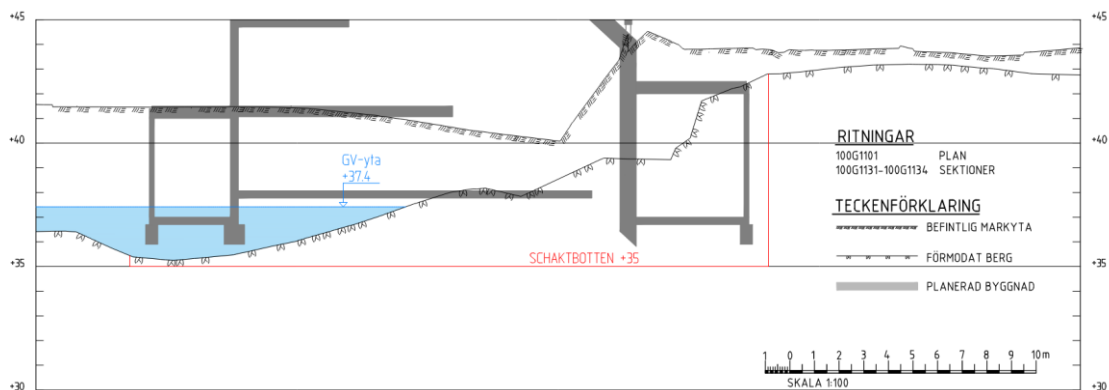
Resultat

Ett prov (20S1501) visar icke höga halter och enligt SFS 2013:319 §6 klassas som "inert utvinningsavfall" bergmassan utan vidare åtgärder. Halterna av sulfidsvavel i det provet är <1% (<1000 mg/kg), se Tabell 2, Tabell 3 och Figur 7, och därför, enligt Masshantering rapport av Region Stockholm, klassas som ofarlig bergmassa med något förhöjd halt [8].

Prover 20S1502 – 20S1504 överstiger nivån (1000 mg/kg TS sulfidsvavel), se Tabell 2, Tabell 3 och Figur 7, och klassas som förhöjd halt enligt Masshantering rapport av Region Stockholm [8].



Vid den största delen av aktuella området, i anslutning till den planerade Norra uppgången för nya tunnelbanan förekommer inget grundvattenmagasin i jord. Detta beror på att berget ligger nära markytan och skapar en barriär mellan två grundvattenmagasin som ligger sydöst och sydväst om området. Det närmsta grundvattenröret 96B314 har mätts av Stockholm Stad sedan 1991 och senare tid av Region Stockholm och har vid cirka hälften av mättillfällena varit torrt. Grundvattennivåerna i detta rör har över tid varierat mellan +37,17 och + 38,12 meter och medelvärdet är beräknat till +37,40 meter (se Figur 8). Men i det nordvästra hörnet ligger berget djupare, ca +35,5, och grundvattnet kan ligga vid ca +37, det kan teoretiskt leda till att grundvatten kan läcka in i schakten från den nordvästra sidan. I produktion antas detta hanteras med hjälp av en tät spontkonstruktion som medför att grundvattnet inom schakten kan sänkas av innan schakten påbörjas. Därav behandlas inte grundvatten vidare i denna PM.



Figur 8. Sektion med relation av förmodat berg till planerat byggnad och till grundvattenyta

ABA-analys

För tre av fyra (provnummer 20S1502 - 20S1504) vilka har sulfidsvavelhalt ≥ 1000 mg/kg rekommenderas en kompletterade Acid-base accounting (ABA) analys för att bestämma försurningsförmågan för bergmassan.

Den försurande effekten av sulfider kan naturligt motverkas av buffrande mineral i berget. Silikater och karbonater är vanligen förekommande buffringsmineral i bergarter. Karbonaters buffringsförmåga mäts i ABA-tester. Det finns ingen motsvarande analys för silikaters buffringsförmåga.

ABA-testet beräknar den slutliga netto neutraliseringspotential (NNP) som representerar en bergskroppens förmåga att balansera bildning av dränerande syra och konsumering av fri syra igenom buffring eller neutralisering. ABA-testet uppfyller kraven i European Standard EN 15875 "Characterization of waste - Static test for determination of acid potential and neutralisation potential of sulfidic waste". Standarden föreskriver förfaranden som ska användas för bestämning av syrapotential (AP, Acid Potential), neutralisationspotential (NP) och netto neutralization potential (NNP).

ABA-utförandet

Neutralisationspotential (NP) utförs på följande sätt:

Ett prov på 2,0 g av malet bergmaterial rörs om med 90 ml destillerat vatten vid temperatur 20 ± 5 ° C på en skakapparat under 15 minuter, sedan mäts pH-värdet och registreras. Om pH-värdet är under 2 i detta skede kan detta prov inte karaktäriseras med ABA-testet. Senare tillsätts lämplig volym och normalitet av HCl-syra och provet omrörs i ytterligare 22 timmar. Efter 22 timmar kontrolleras pH-värdet igen och vid behov tillförs ytterligare tillsats av HCl-syra för att placera pH-värdet inom intervallet 2,0 och 2,5. Om pH är under 2,0 tillsättes för mycket syra initialt och hela testet upprepas med mindre syra. Omrörning fortsätter i ytterligare 2 timmar och

slutligt pH-värdet mäts och registreras. Destillerat vatten tillsätts för att bringa den totala volymen av lösningen till cirka 125 ml och lösningen titreras med NaOH tills pH-värdet blir 8,3.

Syrapotential (AP) utförs på följande sätt:

Syrapotentialen (AP) beräknas genom att multiplicera svavel (sulfid) (%) i provet med en omvandlingsfaktor på 31,25. Man kan även multiplicera svavel (total) (%), men om en betydande del av det totala svaveln är sulfat kommer detta leda till en överskattning av syrepotentialen och därför blir en grov approximation.

Netto neutraliseringspotential (NNP) och neutraliseringspotential (NPR eller NP: AP-förhållande) utförs på följande sätt:

Dessa värden representerar huruvida provet är syraproducerande eller syra är neutraliserat. Netto neutraliseringspotentialen beräknas genom att subtrahera AP från NP. Neutraliseringspotentialkvoten beräknas genom att dividera NP med AP.

Tolkning av ABA-resultat

Netto neutraliseringspotentialen (NNP)

Region Stockholm föreslår i sin utredning "Hantering av risk för sulfidhaltiga bergmassor i utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm" att använda ett system som används i vissa delar av Kanada [8]:

- Materialet är syraproducerande då $NNP < -20 \text{ kg CaCO}_3/\text{ton}$.
- Materialet är inte syraproducerande då $NNP > 20 \text{ kg CaCO}_3/\text{ton}$
- I intervallet -20 och $20 \text{ kg CaCO}_3/\text{ton}$ är det osäkert om materialet kommer att bilda surt lakvatten eller inte

Neutraliseringspotentialkvoten NPR

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 (SFS 2013:319 6§).

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

Ett fuktkammarförsök tillämpas för att mäta silikaters och karbonaters totala neutraliserande förmåga. Silikater som fältspat, muskovit, biotit, kvarts är bergartsbildande för både granit och sedimentådergnejs. 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. Fuktkammarförsöket är en mer tidskrävande analysmetod än ABA-tester [8]. Något fuktkammartest har inte utförts i samband med projektet.

ABA-testresultat

ABA-analys har beställts för provnummer 20S1502 – 20S1504 på ALS Minerals i Piteå. ALS Scandinavias laboratorier är ackrediterade av SWEDAC för ett flertal analysmetoder (reg nr 2030). Det innebär att den internationella standarden ISO 17025 uppfylls. Därigenom uppfyller laboratorierna även kraven i ISO 9001 i sin ackrediterade verksamhet.

Tabell 4. ABA-testresultat (för fullständig analysrapport se för mer detaljerad information i Bilaga 2).

Provets märkning	Acid potential (AP) som CaCO_3	Net Neutralization Potential (NNP) som CaCO_3	Neutralization Potential Ration (NPR) Unity	Neutralizations potential (NP) som CaCO_3	Klassificering
20S1502	6,3	4	1,57	10	Möjlig risk för syrabildning
20S1503	5,3	7	2,41	13	Möjlig risk för syrabildning
20S1504	8,1	1	1,14	9	Möjlig risk för syrabildning

4. Eventuella skadeförebyggande åtgärder.

Eventuella skadeförebyggande åtgärder för materialet som har möjlig risk för syrabildning.

Bergschakten i undersökningsområdet beräknas till 14 200 m³ under förutsättning att schaktbotten ligger på +35 för hela byggnaden och medelschaktdjupet i berg är 3,43 m. ABA-testet visade en svagt buffrande förmåga för alla tre punkter, dvs för 20S1502, 20S1503 och 20S1504, och därför har materialet en möjlig risk för syrabildning. Det är lämpligt att vid förvaring på bergupplag att täcka över bergmassorna för att förhindra lakvattenbildning och ansamlingar av surt lakvatten. Bergmassorna får inte placeras närmare grundvattenytan än $\pm 1,0$ m. För att erhålla en effektiv övertäckning som inte släpper igenom syre eller vatten på ett bergupplag rekommenderas ett lerlager eller en lerig morän överlagrad av en moig eller sandig morän. Det täckande lagret bör vara minst 0,3 m i mäktighet. Bergmaterialet får inte användas till överbyggnadsändamål samt läggas på upplag utan att bli sanerat först. Vid eventuellt förekommande lakvattenläckage från bergmaterialet leds lakvattnet över en neutraliseringsbädd som är dimensionerad för att neutralisera den potentiella syrabildning som kan ske. Översilningsytor bestående av kalkkross är effektiv som neutraliseringsmetod av surt lakvatten men även för att avskilja tungmetaller och närsalter i vattnet.

Av utrymmesskäl kommer det inte finnas möjlighet till återanvändning på plats av förorenade bergmassorna och därför har inte skadeförebyggande åtgärder som gäller för lokal återanvändning utretts.

Det är även viktigt att nämna att det är inte enbart karbonater som har buffrande effekt. Även silikater som fältspat, muskovit, biotit, kvarts är vanligen förekommande buffringsmineral som är bergartsbildande för både granit och sedimentådergnejs. Berggrunden i Stockholm har generellt inte karbonater. De neutraliserande faktorerna för denna berggrund utreds bäst med ett fuktkammartest där även bergets innehåll av silikater utvärderas. 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. Eftersom fuktkammartest inte har utförts än, rekommenderas det att testa prover 20S1502 – 20S1504. Testerna genomförs under en standardperiod om 20 veckor. Det finns dock inget laboratorium i Skandinavien som utför fuktkammarförsök, utan proverna skickas till ALS i Kanada. Det leder till att logistiken tar några veckors extra tid, vilket kan leda till upp 25 – 30 veckor (ca 8 månader) att få färdiga resultat.

Eftersom hanteringen måste ske ex-situ, är ett annat alternativ att krossa materialet hos extern mottagningsanläggning, där man har plikt att meddela om svavelhalter. Kostnaderna kan variera, men det ligger ungefär på 65 SEK per 1 ton som mottagningsavgift att ta emot berg för skut (dvs bergblock med önskat stor volym och skut bildas främst vid bergsprängning) /berg ö 80 cm (källa D.A. Mattsson Deponi och Återvinning i Upplands Väsby). Där på krossning blandar man bergmaterialet med 1% (dvs 142 ton i detta fall) kalksten som kommer att höja NNP och buffra syrabildningen. Sedan kan massorna återanvändas.

Det tredje alternativet kan vara att överlämna massorna på en deponi av IFA typ. I samband med studien och analysen som utförts på bergmassorna har avfallsproducenten (dvs Atrium Ljungberg) ett ansvar för att kontrollera att avfallet får tas emot på deponin. Avfallsproducenten kan behöva kontakta verksamhetsutövaren för deponin för att få uppgifter om avfallet kan deponeras på deponin. Tillståndsbeslutet för deponin kan reglera vilket avfall som får tas emot. Kostnaden för detta varierar, men det snittliga priset är 910 SEK per ton av bergmassan. 14 200 m³ motsvarar 24 850 ton av massberg. Vid behov att deponering rekommenderas det att transportera sulfidförande bergmassan till Ragn Sells kretsloppsanläggning i Högbyp, som ligger utanför Stockholm.

Materialet som klassas som ingen risk för syrabildning

Det är bergmassorna vid första provtagningspunkten, dvs 20S1501 som bedöms som ingen risk för syrabildning, men man ska undvika att placera bergmassorna i ett ytvattenflöde samt att det inte bör placeras närmare grundvattenytan än $\pm 1,0$ m.

Atrium Ljungberg kommer att sälja bergmassorna och köpa in nya massor för grundläggning eftersom det inte finns utrymme att krossa på plats.

Referenser

- [1] Trafikverket, "Handbok för hantering av sulfidförande bergarter. DokumentID 2015:057, version 1.0, ISBN: 978-91-7467-713-3," 2015.
- [2] Sveriges geologiska undersökning (SGU), "Hållbar ballastförsörjning - förutsättningar i Stockholms och Uppsala län. SGU-rapport: 2018:09, Projekt-ID 873514," 2018.
- [3] Naturvårdverket, "Generella riktvärden för förorenad mark, ISBN 978-91-620-5976-7," 2016. [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/5900/978-91-620-5976-7/>.
- [4] Miljö- och energidepartementet, "Förordning (SFS 2013:319) om utvinningsavfall," Regeringskansliet, Stockholm, 2013.
- [5] Miljö- och energidepartementet, "Förordning (SFS 2013:319) om utvinningsavfall," Regeringskansliet, Stockholm, 2013.
- [6] ALS Geochemistry, ABA-PKG06E: Acid-Base Accounting Package as per requirements of EN 15875
- [7] Svensk Standard SS-EN 15875:2011, " Karaktärisering av avfall – Statisk test för bestämning av syrabildnings- och neutraliseringspotential i sulfidhaltigt avfall", SIS, 2011-11-16
- [8] Masshantering. Hantering av risk för sulfidhaltiga bergmassor i utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm, Region Stockholm, 2020-03-16

Bilagor:

1. Bilaga 1:

Laborationsrapport, ALS, 3 sidor

2. Bilaga 2:

Detaljerad Laborationsrapport, ALS, 3 sidor