

funktion.miljoenheten.expl@stockholm.se

## Vägledning – provtagning och klassificering av sulfidförande berg

*Sveriges geologiska undersökning (SGU) har den 21 oktober 2020 tagit emot ovanstående ärende för yttrande. Med anledning av detta vill SGU framföra följande.*

### Inledning/bakgrund

Stockholms län är Sveriges mest byggintensiva område, och man genomför där mellan 5 000 och 10 000 byggtreprenader varje år. Man har historiskt använt sig av entreprenadbergsmassor för byggandet vilket i sig reducerat behoven av nya bygggrävaror från regionens täkter. Idag utgörs uppskattningsvis 50 procent av den årliga totala ballastkonsumtionen i Stockholm av entreprenadberg.

Samtidigt har det på senare tid uppmärksammats att svavelhaltiga mineral i berggrunden i vissa fall kan orsaka miljö- och byggnadstekniska problem. Med god kunskap om berggrundens sammansättning och om vilka arbetsmetoder man ska använda sig av vid byggnation i svavelrikt berg kan negativ miljöpåverkan undvikas och samhället kan fortsätta betrakta entreprenadberget som en naturresurs för byggandet. Därför är det mycket bra att det har tagits fram en vägledning för provtagning och klassificering av sulfidförande berg. SGU anser att stora delar av den rapport som har tagits fram är riktig, upplysande och fungerar på ett vägledande sätt för entreprenörer, konsulter, beställare och myndigheter.

Det bör tydligt framgå om vägledningen enbart avser bergmaterial inom Stockholms kommun eller om det är Stor-Stockholmsregionen som avses. Berggrunden i andra delar av Sverige har andra egenskaper och andra förutsättningar för byggande med entreprenadberg. Med tanke på att Stockholmsregionen är en så stor och intensiv byggarbetsplats med bergtransporter över kommun och länsgränser så borde vägledningen begränsas till Stor-Stockholm.

Om man enbart avser Stockholms kommun domineras berggrunden i denna region av kraftigt omvandlade ofta ådrade ytbergarter, mestadels av sedimentärt ursprung, äldre granitlika djupbergarter, en mindre andel kvartsfattiga mörka djupbergarter samt, framförallt i den norra delen av Stockholms kommun, yngre graniter utan ådror och gnejsstrukturer. Områden med större andel vulkaniska bergarter finner man på Rindö i Stockholms skärgård i öster, i Arlandaområdet och i Norrtälje kommun samt i den norra eller sydvästra delen av Södertälje kommun. Geologiskt är Stockholms kommun en del av Bergslagen och här finns både järn- och sulfidmalmsfyndigheter och ett flertal gruvor. En avgränsning till Stockholmsregionen är med andra ord avgörande för den berggrund som åsyftas i handledningen.

Kapitlet om sulfidförande berg är inte helt korrekt och behöver ses över. Det är antagligen inte malmbildande processer med heta lösningar som bildat de mindre sulfidmineraliseringarna som man framförallt finner i gnejser av sedimentärt ursprung. Möjligen rör det sig om processer som liknar de som anrikat sulfider i dagens sulfatjordar. Den sedimentära berggrundens sulfidmineraliseringar bildades troligtvis för omkring två miljarder år sedan i en sedimentär miljö och under reducerande förhållanden. Järn och svavel reagerade i den syrefria miljön och bildade sulfider.

## Undersökningsmetodik

Att ha ett bra bakgrundsmaterial över ett byggområde är viktigt. Genom att göra en ordentlig bakgrundskontroll kan man bespara en byggherre och slutkunden mycket pengar och tid.

När det gäller SGUs berggrundsgeologiska kartdatabas över Stockholm måste man komma ihåg att den är gjord för presentation i skala 1:50 000. Det betyder att information om variationer i berggrunden inom ett projektområde inte alltid framgår av kartdatabasen. I vissa fall kan en bokstavs-beteckning ha använts på berggrundskartan för att markera en förekomst av sulfider eller något annat viktigt mineral. Sådana beteckningar förekommer dock inte alltid. Beteckningen för sulfidmineralisering kan dessutom för att göra kartbilden läsbar ha flyttats till en annan geografisk punkt, till exempel för att inte hamna ovanpå andra beteckningar. Som ett underlag för att förstå den generella berggrunden i ett område är kartdatabasen däremot ett utmärkt verktyg. Alla kartunderlag är inte kvalitetsmässigt jämförbara. Dels har kartering utförts i olika detaljeringsgrader vanligen visualiserade i olika skalformat. Mängd och kvalitet på den insamlade geologiska informationen och provtagningstäthet kan också variera stort mellan olika områden. Ett otillräckligt underlagsmaterial kan försvåra förutsättningarna att förutsäga eventuella förekomster av olämplig berggrund vilket indirekt kan fördyra byggkostnaderna. Till färdigställda berggrundskartor hör ibland en beskrivning med information om berggrundens lokala egenskaper. I vissa fall beskrivs även berggrundens platsspecifika variationer inom ett kartområde, t.ex. olika mineraliseringar, mer detaljerat i den tillhörande beskrivningen.

Mätningar av jordens magnetfält från flygplan är ett annat viktigt verktyg för att förutsäga sulfidförande berggrund, i alla fall inom sedimentgnejsområdena i Stockholm. Eftersom en stor del av sulfiderna i dessa bergarter utgörs av magnetkis, ett mineral som är högmagnetiskt, så kan dessa mineral användas för att påvisa områden där det kan antas finnas sulfider. Notera att metoden enbart mäter det magnetiska fältet och att det finns andra företeelser som också kan åstadkomma en magnetisk anomali, till exempel magnetiska järnmalmer (magnetitmalmer) eller antropogena objekt som infrastruktur och anläggningar. Den magnetiska anomalin vid Tegelbacken-Södermalm kan t.ex. vara orsakad av ett passerande tåg eller en tunnelbanevagn. Notera också att pyrit som är ett vanligt förekommande sulfidmineral i Stockholms berggrund inte är ett magnetiskt mineral och att enbart pyritförekomst inte ger upphov till magnetanomalier i berggrunden.

## Representativitet av analysprover

Vägledningen är otydlig avseende hur representativa prover av potentiellt sulfidförande berg ska tas. Det är viktigt att tydligt dokumentera hur en provtagning ska utföras eller har utförts. I samband med gruvdrift finns en vedertagen provtagningsmetodik av gråberg från gruvan framtagen vilken är lämplig att använda sig av även för potentiellt sulfidförande entreprenadberg. Den metoden beskrivs här nedan.

De prov som utvinns, analyseras och testas bör vara representativa för eventuellt sulfidförande berg som uppkommer i verksamhetsområdet. Losshållet berg kommer att bestå av en blandning av större block, sten, finare sand- och siltpartiklar. Det finns få riktlinjer om hur ett representativt prov från ett sådant material ska provtas. En studie rekommenderar att prover skall tas utifrån synliga skillnader i materialet (Bäckström och Sädbom, 2018). Svenska institutet för standarder, SIS, rekommenderar att antalet prov som bör tas för att genomföra en karakterisering av materialet kan räknas fram utifrån ekvation 1:

$$N = 0,026 \times M^{0,5} \text{ (ekvation 1)}$$

N är det minsta antalet prover som bör provtas vid en viss materialmängd M (i ton). Denna rekommendation gäller för potentiellt sulfidförande berggrund där man sedan tidigare saknar kunskap om berggrundsgeokemin. N utgör ett samlingsprov å ca 5 kilo som i sig bör bestå av minst 15–30 delprover per samlingsprov. Om mängden avfall/restmaterial som uppstår vid en byggentreprenad utgör 100 000 ton så bör 8 stycken samlingsprov bestående av 15–30 delprov tas. Provtagningsfrekvensen för 1000 000 ton avfall bör vara 25 stycken samlingsprov och för 10 000 000 ton bör den vara 80 stycken samlingsprov (SIS, 2013).

Smith m.fl. (2000) anser att man bör ta ut prover från tre olika kornstorleksfraktioner (>12 mm, 2–12 mm och <2 mm) för att undersöka de mineralogiska skillnaderna mellan dessa. Om inga skillnader föreligger mellan fraktionerna ska den minsta kornstorleksfraktionen, <2 mm, användas för vidare tester/analyser. Samlingsprovet bör då slutligen bestå av minst 30 prov med en kornstorlek mindre än 2 mm. Det material som därmed framtagits representerar sannolikt ett så kallat *worst-case scenario* avseende innehållet av farliga ämnen (Smith m.fl. 2000).

Vägledningen nämner att provtagning av borrhärdar kan komma att bli nödvändig. Om man väljer att ta prov från borrhärd är det viktigt att beakta att proverna kan komma att representera berggrunden i enstaka djupintervall och inte från hela borrhärdjupet (samlingsprov). Vid provtagning av bergmaterial från borrhärdar finns risk att sulfidmineral är underrepresenterade i provet eftersom sulfidmineral ofta förekommer på sprickplansytter eller längs specifika lager i berggrunden och sällan är homogent fördelat i materialet. Vid sprängning spricker berget längs med befintliga svaghetsplan, t.ex. lager eller sprickplan, vilket innebär att sulfidmineral ofta exponeras i en högre grad än andra mineral. Inför en klassificering av ett bergmaterial som potentiellt sulfidförande bör man därför ta både prover från borrhärdar och från det utsprängda materialet.

I en del vägledningar, till exempel GARD-guiden (Global Acid Rock Drainage Guide) och MEND-programmet (Mine Environment Neutral Drainage program, se vidare i referenslistan) rekommenderas att provtagningen skall utgöra en iterativ process, där ingen provtagningsfrekvens (antal prov/ton material) anges, och att val av provtagningsstrategi baseras på kunskap och tidigare erfarenhet. Av dessa skäl är det viktigt att det finns en tydlig provtagningsstrategi. Provrvalet bör redovisas med kartor över berggrundsområdet samt exempelvis de antagna förekomsterna av bergmaterial innehållande eventuella metall- och svavelhalter. Detta åskådliggör hur representativt provrvalet kan sägas vara för det berg som kommer att utvinnas.

## Borningar

Vid bygg- och anläggningsverksamhet genomförs ofta borringar. Borrhärdar kan användas till ett samlingsprov för en aktuell bergskärning. Materialet i borrhärdaxet är vanligen i fraktionen 0/10 mm, med tillräckligt stora partiklar för att man ska kunna undersöka materialet direkt med stereolupp och för vidare analys. Analys av borrhärdax i ett tidigt skede innebär att man slipper provberedning, minskar ledtider och sulfidförekomster kan detekteras relativt snabbt och att stopp i produktionen minimeras. Detta förenklar också efterföljande hantering av sprängsalvan.

## Analysmetodik och utvärdering

Vägledningen rekommenderar att en modifierad inkubationsmetod skall användas för att utvärdera om uppfordrat berg är att betrakta som ett syragenererande material. Inkubationsmetoden är utvecklad för analys av sulfidjordar vilka skiljer sig mycket från ett sulfidförande bergmaterial. Metoden verkar inte vara kommersiellt utvecklad eller vedertagen och den verkar enligt litteraturen inte ha använts tidigare på bergmaterial. Man bör därför i vägledningen hellre rekommendera att andra, mer vedertagna metoder, används.

De tester som används för karakterisering kan uppdelas i statiska och kinetiska metoder. Vedertagna statiska metoder såsom ABA-tester (Acid-Base Accounting) och sekventiella metoder som laktester analyserar mycket små mängder (1–2 gram) men ger ett relativt snabbt testresultat. Kinetiska metoder såsom fuktkammar- och kolonnförsök analyserar betydligt större materialmängder, upp till 1kg, men det kan ofta ta väldigt lång tid, upp till flera år, innan resultat erhålls. I samband med provberedning kan provmaterialet komma att krossas ytterligare varvid nya materialytor friläggs och materialets kemiska reaktionsförmåga förändras. Resultaten från karakteriseringstesterna ska ge svar på hur materialet ska behandlas och vidare användas för att undvika uppkomst av negativa miljöeffekter.

Sulfid-svavel på 1000 mg/kg (1000 g/t, 1000 ppm eller 0,1 %) finns angivna i EU-lagstiftningen och utgör ett av begränsningsvärdena för vad som ska kategoriseras som inert avfall från utvinningsindustrierna, se Kommissionens beslut <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009D0359>.

Det finns goda skäl till att analysera bergmaterialet på fler än bara ett fåtal ämnen med tanke på ovan nämnda kommissionsbeslut om klassning av avfall innehållande potentiellt skadliga ämnen för miljön eller människors hälsa. I kommissionens beslut hänvisas till att man ska följa nationella tröskelvärden för dessa ämnen och i Sverige hänvisas ofta till att man ska använda nivåvärden motsvarande *mindre än ringa risk* som bedömningsgrund.

Rapporten föreslår att man ska använda sig av ABA-test. ABA-tester kan utföras om bergmaterialet för svavelhalter är högre än 0,1 % (1000 mg/kg) och det samtidigt kan misstänkas att de aktuella bergarterna har en förmåga att neutralisera den syramängd som sulfiderna kommer att orsaka. Detta gäller framförallt bergarter som innehåller karbonatmineral som kalcit eller dolomit.

Den föreslagna metoden för att lösa upp provet i HNO<sub>3</sub>-HCl-HF ger inte en fullständig bergartsanalys och är inte tillräcklig för att lösa upp alla mineral i bergarten. ABA-test ger ett mått på bergarters förurnings- och neutraliseringsförmåga men deklarerar inte vilka grundämnen materialen innehåller. Det ger inte heller information om när, hur mycket och hur länge syraproduktion kommer att ske. Syraproduktionen beror även av andra parametrar som pH, temperatur, redox etc. I stället är det bättre att använda sig av en så kallad full geokemisk bergartsanalys (*whole-rock analysis*) där flera uppslutningsmetoder används för att kunna lösa upp samtliga mineral, vilket i kombination med Leco-analys av kol och svavel, ger en komplett bergartsanalys. Vid en sådan analys erhålls totalhalterna även för andra ämnen som t.ex. As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Sb, Tl, Hg, Ni, Bi och Co. Metoden används av SGU inom berggrundskarteringen och av forskare samt av gruv- och prospekteringsföretag. Om en totalanalys av bergprovet visar på låga svavelhalter, behöver inte en ABA-analys eller likvärdig metod utföras. En totalanalys är med all sannolikhet billigare än att använda den föreslagna metoden. Vid analys ska man använda sig av ett ackrediterat laboratorium med möjlighet att utföra större analysserier och

dokumenterad omfattande produktion av full bergartsanalys. Det finns ett flertal internationella företag som utför sådana analyser.

En full bergartsanalys visar inte bara om bergarten innehåller svavel utan även om bergarten innehåller andra element som kan orsaka problem. Denna vägledning är fokuserad på sulfidhaltigt berg vilken är den mest aktuella frågeställningen idag. Då en laksituation med sulfidhaltigt berg uppstår, kan även problem med lakning av andra skadliga ämnen från berget bli ett problem, till exempel tungmetaller. Man kan inte utesluta att man i framtiden vill ha svar på om andra skadliga ämnen förekommer i berggrunden. Med en detaljerad kunskap om var och hur sulfidhaltigt berg uppträder kan detta frångiljas från det inerta berget före sprängning. Detta innebär att det blir möjligt att minska mängden berg som måste deponeras på ett säkert sätt. En komplett analys ger också svar på om någon eller några av de av EU och Naturvårdsverket listade miljöskadliga ämnena förekommer i berget.

Surt lakvatten med höga metallhalter i vattendrag beror i stor utsträckning på halterna av toxiska metaller som kan mobiliseras ur bergmassan. En högsulfidhalt i berggrunden måste inte orsaka läckage av höga metallhalter i närmiljön. Att bara mäta sulfid- eller svavelmängd kan vara en lämplig åtgärd vid en riskbedömning av en viss plats, men förhöjda totalhalter behöver inte nödvändigtvis kontaminera närmiljön, t.ex. i de fall berggrunden i fråga saknar toxiska metaller.

Surt lakvatten från sulfidförande berggrund är dock ett problem i sig. Vattnet angriper konstruktioner under byggtiden och kan kraftigt påverka eller helt slå ut flora och fauna i närbelägna vattendrag. På vissa platser i Stockholms län har man uppmätt mycket låga pH-värden (Mattisson 2018, Rapp 2019).

### **Hantering och skyddsåtgärder**

Det viktigaste vid hantering av ovittrat, sulfidbärande bergmaterial bör vara att så snabbt som möjligt undvika att materialet utsätts för en syreexponering. Detta görs lämpligen genom en torr- eller våttäckning. Om materialet tillåts oxidera före behandlingen bör även andra metoder utvärderas och resultaten kontrolleras. Valet av efterbehandlingsmetod ska underbyggas med resultat från karakterisering och klassificering av materialet. Eventuella planer för hantering och skyddsåtgärder bör tas fram i ett så tidigt stadium som möjligt för att kunna kontrollera den valda åtgärdens funktion, beständighet (t.ex. syrenedträngning, vattenmättnadsgrad) samt påverkan på kvaliteten och mängden av grund- och ytvatten.

Inför planering av skyddsåtgärder bör grund- och ytvattenförhållanden i området kontrolleras både före och efter det att berget utvunnits. Detta då grund- och ytvattenflöden kan ha ändrats efter det att sprängning har utförts.

### **pH-neutraliserande berggrund**

Om vägledningen har en nationell inriktning på klassificering av sulfidförande berg i tidiga skeden av exploateringsprojekt borde även förekomsten av naturlig pH-neutraliserande berggrund finnas med. Vägledningen fokuserar inledningsvis endast på förekomst och mängd av sulfider och nämner inte alla de eventuella buffrande eller neutraliserande egenskaperna hos berggrunden. Förekomsten av pH-neutraliserande bakgrundsmaterial måste sättas i förhållande till den analyserade sulfidhalten som dokumenterats för att kunna bedöma en eventuell miljöpåverkan (se ABA test, kap 5.6 i Trafikverkets

handbok för hantering av sulfidförande bergarter). Här beskrivs även en enkel metod för att påvisa karbonatmineral i berggrunden. Man kan droppa lite utspädd saltsyra på bergarten och om man ser att det fräser så förekommer det karbonatmineral i berget som har reagerat. Denna metod kallas allmänt för *fizz-test* i ABA-analyser och kan utgöra ett komplement vid själva undersöknings- och provtagningstillfället för att detektera pH-neutraliserande berggrund.

För att öka möjligheten att bedöma en berggrunds buffringskapacitet bör lokalt och regionalt förekommande karbonatbergarter och karbonatmineral beskrivas. En förekomst av naturligt pH-neutraliserande berggrund kan minska riskerna vid utvinning av sulfidförande berggrund. Därför är det viktigt att ha kunskap om den förstnämnda innan en förundersökning inleds och inför det att en bedömning av platsens geologiska förutsättningar görs.

Enligt SGUs kartdatabas förekommer inga större områden med karbonatrik berggrund i Stockholms län förutom på enstaka öar i skärgården.

Beslut i detta ärende har fattats av enhetschef Mugdim Islamovic. I den slutliga handläggningen av ärendet har även statsgeologer Anna Ladenberger, Jenny Andersson, Roger Hamberg, Anders Hallberg, Magnus Johansson, Gustav Sohlenius och Mattias Göransson, den senare föredragande, deltagit.

Mugdim Islamovic

Mattias Göransson

### ***Referenser***

Bäckström, M. & Sädbom, S., 2018: *Sampling of mining waste – historical background, experiences and suggested methods*. 71 s.

<http://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/2018/RR1805-appendix2.pdf>

(GARD) The International Network for Acid Prevention (INAP), 2018. *The Global Acid Rock Drainage Guide (GARD)*. 473 s.

<http://www.gardguide.com/images/5/5f/TheGlobalAcidRockDrainageGuide.pdf>

Mattisson, E. (2018). Increased leaching of metals as a result of foundation work. KTH Master thesis  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-232049>

(MEND) Study of Tailings Management Technologies (2017). Mine Environment Neutral Drainage program (MEND). 164 s. Rapport tillgänglig via: <http://mend-nedem.org/category/prediction/>

Rapp, A. (2019). Undersökning av lagningspotential och kristallareafördelning av opaka mineral i bergarter från Ekobacken, Värmdö kommun. Master thesis, Uppsala univ. [https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1318484&dswid=\\_new](https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1318484&dswid=_new)

Smith, K.S., Ramsey, C.A. & Hageman, P.L., 2000: *Sampling Strategy for the Rapid Screening of Mine-Waste Dumps on Abandoned Mine Lands*. Open-File Report 00-016, US Department of the Interior & US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr0016>

Svenska standard Institutet (SIS), 2013. *Karakterisering av avfall - Provtagning av avfall från utvinningsindustrin*. Teknisk rapport SIS-CEN TR 16365:2013.

***Sökvägar till SGUs information:***

**Kartvisaren** är en interaktiv karttjänst som visar olika typer av information som SGU kan erbjuda. Titta gärna på ”[Instruktionsfilm för kartvisaren](#)” innan ni börjar.

Sökväg: <https://apps.sgu.se/kartvisare/>

Användbara tema:

Berggrund 1:50 000 - 1:250 000

Gammastrålning, uran

Jordarter 1:25 000 – 1:100 000

Magnetfält

**Kartgeneratorn** är en tjänst där man kan beställa och ladda ner kartor i pdf-format.

Sökväg: [http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder\\_sv.html](http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html)

Användbara kartor:

Berggrund/ 1:50 000 eller 1:250 000

Jordarter/ 1:25 000-1:100 000 eller 1:200 000 eller 1:250 000

Geofysik/ magnetfält eller uran

Jorrdjup/Jorrdjupskarta

**Geolagret**, här finns alla SGU-publikationer nedladdningsbara som pdf-filer

Sökväg: <https://apps.sgu.se/geolagret/>

Några användbara sökord:

Ba 60 Berggrundskartan 10I Stockholm

Ae 1 Geologiska kartan 10I Stockholm

Ae 2 Geologiska kartan 10I Stockholm

Ae 3 Geologiska kartan 10I Stockholm

Ae 4 Geologiska kartan 10I Stockholm