

**Svenska Geotekniska Föreningen**  
Swedish Geotechnical Society

**SGF Notat 2:2026**

**Representativ  
provtagning av sulfid- och arsenikhaltigt  
berg**

SGF Sektion Föreorenade Områden och Sektion Berg

Linköping 2026





## Förord

Hantering av berg med naturligt förhöjda halter av ämnen som svavel och arsenik är förknippat med stora kostnader i infrastrukturprojekt. Variationer i berggrundens sammansättning och förekomst av sulfidmineral innebär att provresultat ofta uppvisar stor spridning, vilket kan försvåra bedömningar i både projektering och produktion. Avsaknaden av enhetliga arbetssätt att provta och klassificera dylikt berg har bidragit till olika tolkningar och tillämpningar mellan projekt och aktörer. Därför initierade och finansierade SGF 2025 ett projekt med syftet att bidra till ett mer likriktat och kvalitetssäkrat arbetssätt.

Arbetet har utförts i samverkan mellan Svenska Geotekniska Föreningens Sektion Berg och Sektion Föreorenade Områden, med en projektgrupp bestående av Paul Evins (WSP/SGF Sektion Berg), Rasmus Fältmarsch (Atrax) och Luleå Tekniska Universitet (Christian Maurice), med ett examensarbete färdigställt 2026. Projektgruppen har letts av Helena Furst (WSP/SGF Sektion Föreorenade områden). Föreliggande SGF-notat sammanfattar examensarbetets resultat kompletterat med erfarenheter från projektgruppen. Syftet är både att belysa hur provtagningsstrategi, geologisk heterogenitet samt projektskede påverkar representativiteten i provtagningen och att bidra till ett gemensamt kunskapsunderlag. Förhoppningen är att notatet ska utgöra ett stöd i det praktiska arbetet och fungera som underlag för fortsatt utveckling av gemensamma riktlinjer inom området.

## Innehållsförteckning

### Förord

<b><u>1</u></b>	<b><u>BAKGRUND OCH SYFTE.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>PROVTAGNINGSTEORI.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>METOD OCH GENOMFÖRANDE.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>RESULTAT.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>SLUTSATSER.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
5.1	Tidigt skede.....	5
5.2	Produktionsfasen.....	6



## 1 BAKGRUND OCH SYFTE

Hantering av sulfid- och arsenikhaltiga bergmassor är en central utmaning i svenska infrastrukturprojekt. Svensk berggrund kan lokalt innehålla anrikningar av sulfidmineral. När sådant berg loss hålls och hanteras på felaktigt sätt kan sulfidmineralen oxidera och ge upphov till sura- och metallrika lakvatten som i värsta fall kan påverka omgivande miljö. I många fall innehåller berggrunden inte tillräckligt med sulfidmineraler eller arsenikmineraler för att utgöra sådan risk, och användbart entreprenadberg hanteras alltför försiktigt med ökade projektkostnader som följd.

Tydliga branschgemensamma riktlinjer för hur sulfid- och arsenikhaltigt berg ska identifieras, provtas och klassificeras saknas<sup>1</sup>, vilket har lett till stora osäkerheter i masshanteringen. I ett cirkulärt perspektiv är detta problematiskt, eftersom entreprenadberg är en begränsad resurs och återanvändning av bergmassor är central för att minska klimatpåverkan, transporter och behovet av nya täkter.

Mot denna bakgrund har examensarbetet genomförts som en stor del av Svenska Geotekniska Föreningens (SGFs) utvecklingsprojekt, med målet att bidra till ett bättre kunskapsunderlag för framtida riktlinjer kring provtagning av sulfidförande och arsenikhaltigt berg. Examensarbetet (som har fokuserat på sulfidhaltigt berg) kan laddas ned här: <https://tu.diva-portal.org/smash/get/diva2:2037198/FULLTEXT01.pdf>. Detta notat sammanfattar examensarbetet och innehåller ytterligare insikter från projektgruppen.

Projektets syfte är att utvärdera olika provtagningsstrategier och provtagningsmetoder för sulfid- och arsenikhaltigt berg, med fokus på deras förmåga att ge en representativ skattning av svavelhalten i en bergmassa. Även om fokus ligger på sulfidhaltigt berg är resultaten också tillämpliga vid provtagning av arsenikhaltigt berg. Fokus ligger inte på att bedöma miljörisker eller försurningspotential i sig, utan på osäkerheter kopplade till provtagning och analys. Arbetet jämför olika provtagningsmetoder i både tidigt skede och produktionsskede för att skatta svavelhalt i berg samt identifierar huvudsakliga källor till osäkerheter. Resultaten från detta projekt utgör ett viktigt underlag för fortsatt arbete med branschgemensamma rekommendationer för provtagning, klassificering och hantering av arsenik- och sulfidhaltigt berg inom svensk bygg- och anläggningsverksamhet.

## 2 PROVTAGNINGSTEORI

Arbetet bygger på etablerad provtagnings teori inom miljö- och geoteknisk provtagning, där heterogenitet i materialet lyfts fram som den dominerande osäkerhetskällan. Sulfidmineral och arsenikmineral är ojämnt fördelade i bergmassan, ofta koncentrerade till linser, sprickor och svaghetszoner. Detta innebär att svavel- och arsenikhalter kan variera kraftigt både i plan och med djup, även över mycket korta avstånd, se Figur 1.

---

<sup>1</sup> En publikation från Naturvårdsverket med Riktlinjer för resurseffektiv hantering av entreprenadberg från bygg- och anläggningsprojekt ska komma (remitterades under perioden 2026-02-05 t.o.m. 2026-04-07).



Figur 1. Schematisk bild av sedimentär gnejs i Stockholm (ritad av Paul Evins, WSP). Lagringen är brant och sulfid/arseniklinser (röda) ligger vanligtvis parallellt med och i lager och är mer utsträckta i vertikalled än horisontelled. Skjuvzoner och sprickor (gula) kan innehålla ännu högre sulfidhalt än linserna. Representativ provtagning av bergmassan försvåras av denna variation i sulfid- och arsenikfördelningen. Svavelhalten i enskilda ytprover (blå ringar) kan variera kraftigt inom korta avstånd. Borrhålsprover (blå rektanglar) kan visa samma variation, men påverkas också av linsernas utsträckning i vertikalled.

I samband med kartering och undersökning av berg uttas material generellt som enskilda prov eller samlingsprover. Samlingsprov består av flera delprov som sammanförs till ett prov medan enskilda prov utgörs av ett stickprov som ska representera det undersökta berget. Samlingsprov antas generellt ge en bättre skattning av ett medelvärde i heterogent material, men på bekostnad av möjligheten att identifiera lokala variationer.

Vidare diskuteras olika provtagningsstrategier, såsom viktad (kunskapsbaserad) provtagning baserad på geologisk bedömning, slumpmässig provtagning och systematiska upplägg. Provtagningsstrategin måste alltid anpassas efter projektets skede, geologi och logistiska förutsättningar.

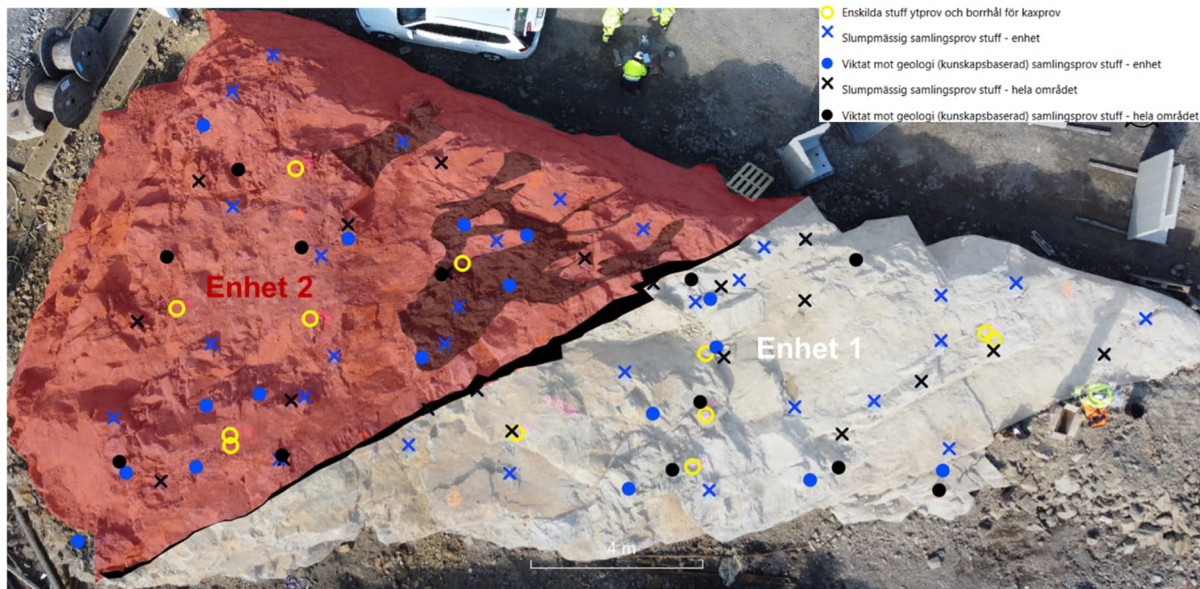
### 3 METOD OCH GENOMFÖRANDE

Studien genomfördes på en 30 × 10 meter avtäckt berghäll vid Nobelberget i Nacka kommun, Stockholm. Berghällen delades in i två geologiska enheter baserat på skillnader i litologi, biotithalt och uppspruckenhet.

Provtagning av varje geologisk enhet genomfördes i tre skeden:

- **Tidigt skede;** innan uppborrning för sprängning.
  - Stuffprov (ytprovtagning med slägga)
    - Enskilda – ● i Figur 2.
    - Viktat mot geologi – ● och ● i Figur 2.
    - Slumpmässiga – × och × i Figur 2.
  - Borrkaxprov (meterindelade samlingsprov från borrhål) på varje plats där enskilda stuffprov togs – gula ringar i Figur 2.
- **Produktionsskede;** kaxprov från sprängborrhål under pågående bergschakt, 65 delprov i geologisk enhet 1 (vit i Figur 2) och 73 delprov i geologisk enhet 2 (röd i Figur 2).
- **Produktionsskede;** från sprängberghög efter bergschakt
  - Homogeniserad – 2 samlingsprov per geologisk enhet.
  - Icke homogeniserad
    - Viktat mot geologi – 3 samlingsprov per geologisk enhet.
    - Slumpmässiga – 3 samlingsprov per geologisk enhet.

Totalt analyserades ett mycket stort antal prover, vilket möjliggjorde statistisk utvärdering av variation och osäkerhet.



Figur 2. Geologiska enheter och provtagningsplatser.

Svavelhalten analyserades med två metoder:

- Handhållen XRF-analys i fält.

- Analys av upplösta (HNO<sub>3</sub>, HCL och HF) prov vid ackrediterat laboratorium.

Resultaten utvärderades med statistiska metoder såsom variationskoefficient, relativ standardavvikelse, t-test och regressionsanalys.

## 4 RESULTAT

Studien visar tydligt att **provtagningen är den dominerande osäkerhetskällan**. Osäkerheten kopplad både till laboratorieanalysen samt provberedningsförfarandet (spaltneddelning) uppgick till 17% för totalsvavel medan osäkerheten kopplad till själva provuttaget skattades till ca 10 till 200%. Den stora variationen avseende provtagningsosäkerheten var relaterad till provtyp och geologisk enhet, se Tabell 1.

Tabell 1. Variationskoefficient för olika provtyper från olika projektskeden inom varje geologisk enhet.

Provtyp	Variationskoefficient [%]
<b>Tidigt skede</b>	
Enskilda stoff ytprov- enhet 1	100
Enskilda stoff ytprov- enhet 2	110
Borrkax inom enskilda hål – enhet 1	58-200
Borrkax inom enskilda hål – enhet 2	23-103
Borrkax från samtliga hål - enhet 1	89
Borrkax från samtliga hål - enhet 2	46
<b>Produktionsskede</b>	
Slumpmässiga samlingsprov från icke-homogeniserad sprängberghög – enhet 1	9
Slumpmässiga samlingsprov från icke-homogeniserad sprängberghög – enhet 2	29
Viktat (kunskapsbaserad) samlingsprov från icke-homogeniserad sprängberghög – enhet 1	23
Viktat (kunskapsbaserad) samlingsprov från icke-homogeniserad sprängberghög – enhet 2	4
Slumpmässiga samlingsprov från homogeniserad sprängberghög – enhet 1	52
Slumpmässiga samlingsprov från homogeniserad sprängberghög – enhet 2	29

De viktigaste resultaten kan sammanfattas enligt följande:

- **Heterogeniteten i bergmassan** var mycket hög, vilket bekräftades genom stora skillnader i svavelhalt mellan den ursprungliga provpunkten och närliggande dubbelpunkt (15 till 35 cm avstånd).
- Uppdelning i **geologiska enheter** visade sig vara en god strategi; geologisk enhet 2 uppvisade i genomsnitt högre svavelhalter än geologisk enhet 1, med statistiskt signifikant skillnad.

- **Enskilda prov** (både stuff- och kaxprov) visade mycket stor variation avseende svavelhalt och kunde inte anses representativa för större volymer berg. Detta kan bero på den extrema heterogeniteten i just denna berghäll (rostigt sedimentär gnejs). Enskilda prov kan eventuellt vara tillräckliga för att betraktas som representativa i mer homogena bergarter som granitgnejs, amfibolit eller sedimentär gnejs som inte har en rostig beläggning.
- **Samlingsprov** visade mindre variation och bedöms ge mer representativa skattningar av svavelhalten i hela bergmassan, särskilt när antalet delprov är stort.
- **XRF-analys** visade sig vara otillförlitlig för kvantitativ bestämning av svavelhalt. Metoden tenderade att överskatta halter i grovt material och underskatta halter i finare material, och resultaten korrelerade dåligt med laboratorieanalyser.
- Jämförelsen mellan **tidigt skede och produktionsskede** gav inget entydigt svar på vilket skede som ger mest representativa resultat. Produktionsskedet möjliggjorde dock fler delprov och därmed lägre provtagningsosäkerhet.

## 5 SLUTSATSER

Representativ provtagning av sulfidförande berg handlar i första hand om att **minimera provtagningsosäkerheten**. Detta uppnås bäst genom:

- Tydlig **uppdelning i geologiska enheter** och anpassning av provtagningsstrategin till **geologisk heterogenitet**.
- Användning av viktade **samlingsprov med många delprov**.
- Medvetenhet om att **enskilda prov inte är representativa** i heterogent sulfidförande berg.

Arbetet visar att olika provtagningsmetoder kan leda till helt olika klassificering av samma bergmassa, vilket understryker behovet av tydliga och praktiskt användbara riktlinjer. Ett schematiskt tillvägagångssätt för provtagning rekommenderas nedan för olika projektfaser.

### 5.1 Tidigt skede

Geologen definierar geologiska enheter genom att kartera alla exponerade bergytter i projektområdet. Av erfarenheter från flera projekt bedöms vissa bergarter, såsom Stockholmsgranit, inte behöva provtas och kan klassificeras för fri användning eftersom de är kända för att inte utgöra någon miljörisk.

Om projektområdet är tillräckligt exponerat och fördelningen av bergart/sulfidmineral är känd både i horisontal- och vertikalled, kan samlingsprov av flera stuff från varje geologisk enhet räcka för slutlig klassificering. Om mindre än 10 000 ton berg schaktas från en geologisk enhet bedöms ett samlingsprov tillräckligt för klassificeringsändamål. Om mer än 10 000 ton berg förväntas schaktas från en geologisk enhet kan flera samlingsprov behövas. I större projekt kan ett samlingsprov representera ännu större mängd av bergmassan om bergarten är mer homogen och visar begränsad variation i svavel- och arsenikhalt.

Om projektområdet inte är tillräckligt exponerat men undersöks med JB-sondering, kan samlingsprover av borrhåskax från alla JB-sonderingshål från en geologisk enhet tas för att ge en första indikation på svavelhalt.

I många fall är projektets geologi inte tillräckligt exponerad eller tillgänglig för provtagning förrän i produktionsfasen.

## **5.2 Produktionsfasen**

Geologen definierar geologiska enheter efter att bergytan har avtäckts.

Inom varje geologisk enhet bör samlingsprov av flera stoff, alternativt sprängborrhålskax från alla sprängborrhål, tas för slutlig klassificering.

Om det inte finns möjlighet att ta prov före sprängning måste sprängberghögar provtas. En geolog bör bekräfta att sprängberghögen som ska provtas är av samma bergart. Om inte, bör geologen ta ett viktat samlingsprov baserat på bergartsfördelningen. Om sprängberghögen är homogen, räcker slumpmässiga samlingsprov för slutlig klassificering.

Som ovan nämnts styrs även antalet samlingsprov som behövs per geologisk enhet av hur mycket berg som ska schaktas.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1300 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med Grundläggning, ingenjörsgologi och miljöteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserier utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.