

# **GEOFYSIK FÖR BÄTTRE BERGMODELLER – BIDRAG TILL TUNNELBANEPROJEKTET I STOCKHOLM (TNG)**

## **GEOPHYSICS FOR IMPROVED ROCK-MASS MODELS – EXAMPLES FROM THE STOCKHOLM SUBWAY PROJECT (TNG)**

*Joachim Place, Sweco Civil AB, Stockholm*

*Gustav Westerlund, Rockplan, Helsingfors*

*Joacim Olsson, Sweco Civil AB, Sundsvall*

*Fanny Nordin, Sweco Civil AB, Stockholm*

*Per Nilsson, Sweco Civil AB, Sundsvall*

## **Abstract**

New infrastructures are needed to enable a harmonious growth of the city of Stockholm, Sweden, as for example the extension of its subway network. The many underground tunnels and rooms to be built require the excavation of a significant volume in the rock mass. Both the construction and operating costs strongly depend on the design of the project, to which the exactness of the rock models is critical.

In this paper, we present underground models where filling materials, sediments and the crystalline basement have been investigated using a combination of different methods. The role of geophysical methods is highlighted, especially as a natural complement to geotechnical and geological studies which are more traditionally and extensively used in Sweden. 3D-mapping of the top basement underneath sediments and anthropogenic materials, as well as the identification of weakness zones within the basement are illustrated. The successful alleviation of the difficult conditions encountered at Gullmarsplan (vibrations from neighbouring road and railways, strong electric currents, access limited both in space and time, attenuation in ballast, ...), is emphasised. In addition to geophysical methods traditionally operated from the ground surface, an example of a downhole seismic survey (VSP - Vertical Seismic Profile) in a 70 m deep hole is presented.

This contribution aims at illustrating the strength of geophysics in construction projects in urban environment, especially its capacity to provide with continuous information, which readily solves the problematic lack of data that inherently exists between outcrops and geotechnical holes. The exactness of geotechnical sounding is also showed to be valuable to geophysics as it provides calibration, therefore lessening the approximate character, and strong limitation, of geophysics.

# Sammanfattning

I syfte att tillåta en smidig tillväxt av Stockholms stad projekteras en utbyggnad av tunnelbanan. En stor volymbergmassa i form av tunnlar och berggrum ska därför schaktas för att skapa dessa möjligheter. Den totala byggkostnader samt driftskostnader är beroende av en väl planerad projektering, där tillförlitligheten av bergmodeller spelar en avgörande roll.

Ett flertal exempel i urval kommer att presenteras där informationen om jord och berggrunden har samlats ifrån så många metoder som möjligt för att kunna skapa modeller som speglar verkligheten så bra som möjligt. Härmed lyfter vi de viktigaste insatserna som kommit ifrån geofysiska metoder för att komplettera traditionella geotekniska och geologiska undersökningar. 3D-kartering av bergnivå under fyllningsmaterial och naturliga sediment, samt identifiering av svaghetszoner i berggrunden presenteras. Framgångsrika resultat från Gullmarsplan redovisas, eftersom denna plats innehåller många av de svårigheter som brukar begränsa effektiviteten av geofysik i stadsmiljö (vibrationer från väg- och järnväg, starka elströmmar, svår tillgång/åtkomst, dämpning av vågor i makadam...). Förutom klassiska geofysiska metoder som används på markytan presenteras ett exempel på borrhålsseismik (VSP - Vertical Seismic Profile) i ett 70 m djup håll. Vid Sockenplan har geofysik bidragit till en mer detaljrik uppskattning av bergtäckningen ovan en planerade bergtunnel samt hjälpt att bedöma vidden av en svacka i bergövertytan.

Detta bidrag exemplifierar geofysikens styrka, alltså att producera kontinuerlig information, vilket balanserar informationsklyftan som uppstår mellan geotekniska sonderingar. Bidraget bevisar också att noggrannhet av geotekniska sondering kompletterar bristen på exaktheten vid geofysiska metoder och bidrar till dess kalibrering.

## Inledning

I syfte att tillåta en smidig tillväxt av Stockholms stad projekteras en utbyggnad av tunnelbanesystemet. Projektet styrs av Förvaltning för Utbyggd Tunnelbana (FUT) och innebär utbyggnaden av Blå linje, som börjar vid Kungsträdgården och sträcker sig österut samt söderut (Fig. 1). En stor volym berg i form av tunnlar och berggrum ska med anledning av detta schaktas. Den totala byggkostnaden samt driftskostnader är beroende av en väl planerad projektering, där tillförlitligheten av bergmodeller spelar en avgörande roll. I den delen som benämns Tunnelbana till Nacka och Gullmarsplan/Söderort (TNG), för vilken Sweco ansvar för projekteringen, har geofysiska metoder kommit i spel för att försöka förbättra kvalitén hos bergmodellerna.



Figur 1: Utbyggnaden av Blå linje, Stockholm, Sverige.

# Arbetsmetodik och motivation för geofysiska undersökningar

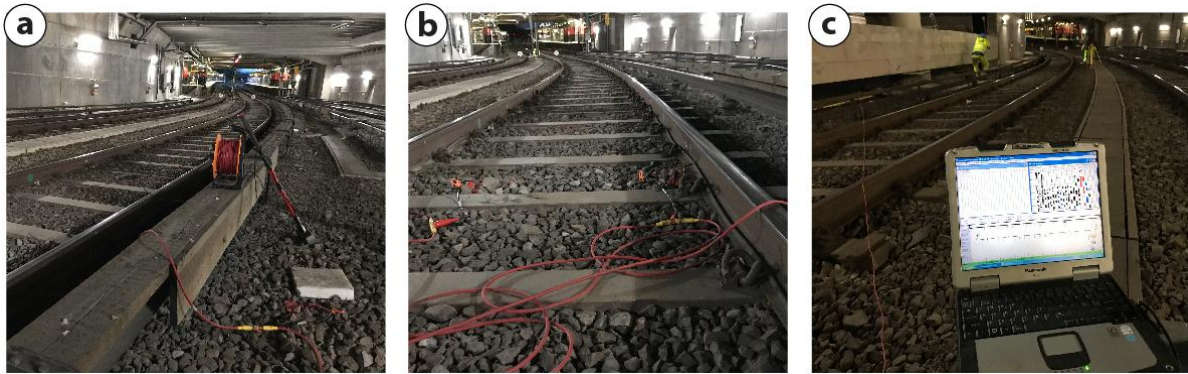
I denna artikel beskrivs två fallstudier i ramen för TNG-projektet. I bägge exemplen är bergnivån och bergkvalitén viktiga aspekter för att uppskatta entreprenörernas kostnader samt öka funktionaliteten/pålitligheten av infrastrukturen. Geologiska karteringar har utförts på berghällar och baserat på dessa har kärnbörning utförts på kritiska platser. Geotekniska undersökningar, som t.ex. JB sondering och provtagning, har utöver dessa använts för att bestämma bergnivån och bergkvalitén. Eftersom metoderna beror mycket på befintliga berghällar och ett begränsat antal borrhål erhålls en bergmodell med en låg punkttäthet och därmed låg noggrannhet. Informationsklyftan brukar hanteras med mer eller mindre avancerad interpolation, som baseras på arbetshypotes om att bergöverytan mellan dessa punkter har en linjär lutning. Riskerna med detta arbetssätt innebär att man kan missa betydande variationer i bergnivå och bergkvalité (t.ex. svaghetszoner) mellan observationerna, vilket kan påverka både byggandet och funktionen av infrastrukturen med oväntade kostnader utöver säkerhetsaspekter.

Som komplement till dessa undersökningar kan geofysiska metoder erbjuda kontinuerlig information längs profilerna mätt i fält, vilket ger tilläggsinformation för interpoleringen och därigenom ökar detaljrikedomen i modellerna. En heltäckande geofysisk undersökning skulle innebära mätning i serier av profiler i två olika geografiska riktningar för att erbjuda tät och pålitlig information i 3D. Vad som utförs i verkligheten avviker från detta, oftast med anledning av begränsade markåtkomst och budget. Geofysiska undersökningar är i Sverige, till skillnad mot för andra delar av världen, inte en del av de undersökningar man utför av praxis. Vid ökad kunskap inom vad man med geofysiska undersökningar kan åstadkomma så kan man planera att använda dem i rätt skede och på så sätt skapa mer kostnadseffektiva och bättre modeller.

## Fallstudier och resultat

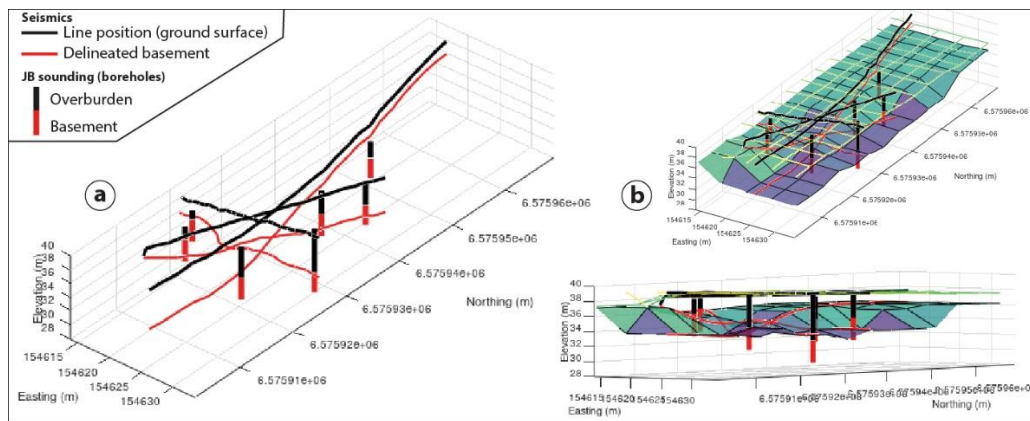
### Gullmarsplan

Den befintliga buss-, spårväg- och tunnelbanestationen på Gullmarsplan (Fig. 1) ska expanderas för anslutning till den nya och djupare tunnelbana på c. 70 m djup, med hjälp av nytt hisschakt. Både bergnivån och bergkvalitén behövde undersökas för att skapa ett förbättrat underlag för planering. Eftersom markytan är artificiell och består av järnvägsspår, samt ligger under en busstation, innehåller denna plats många av de svårigheter som brukar begränsa effektiviteten av geofysik i stadsmiljö (vibrationer från väg- och järnväg, starka elströmmar, svår tillgång/åtkomst, dämpning av vågor i makadam...). Refraktionsseismiska mätningar har utförts nattetid med låg frekvens och vertikala geofoner (Fig. 2b) för att minska brusets påverkan på data. Endast 24 st. geofoner har använts för att minska trafikförstöringar tack vare en kort vistelse i spårområdet. En slägga och skottplatta har använts som källa (Fig. 2a). Totalt 4 korsande profiler har utförts på eller i närheten av det planerade hisschaktet med geofonavstånd som varierade mellan 0,75 m och 3 m.



Figur 2: Seismik mätning i spårområdet vid Gullmarsplan. a) seismikkälla. b) geofoner. c) datauppsamlingsdator.

Trots bruset från antagligen trafik och ventilations- och kylningssystem har P-wave "first arrivals" kunnat identifieras i 3 profiler. Den andra profilen har förmodligen påverkats av "guided waves" i själva rälererna. Ytterligare tolkning har erbjudit ökande hastighetskurvor med djup som, med kalibrering av JB sonderingar (Gallego Barrón, 2019) och en berghäll, tolkades som fyllningsmaterial och berg (Fig. 3). Ett lågt hastighetsvärde på  $1400 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  verkar representera bergytan, vilket tolkas som en effekt av sprängningen som har minskat de mekaniska egenskaper av berget som inte transporterades bort och lämnades kvar innan fyllningsmaterialet breddes över. Mäktigheten på det materialet som täcker berget varierar från noll meter (vid berghällen) upp till ca. 6 meter. Resultat exporterades i PXY format och presenteras i 3D med sonderingsdata (Fig. 3).

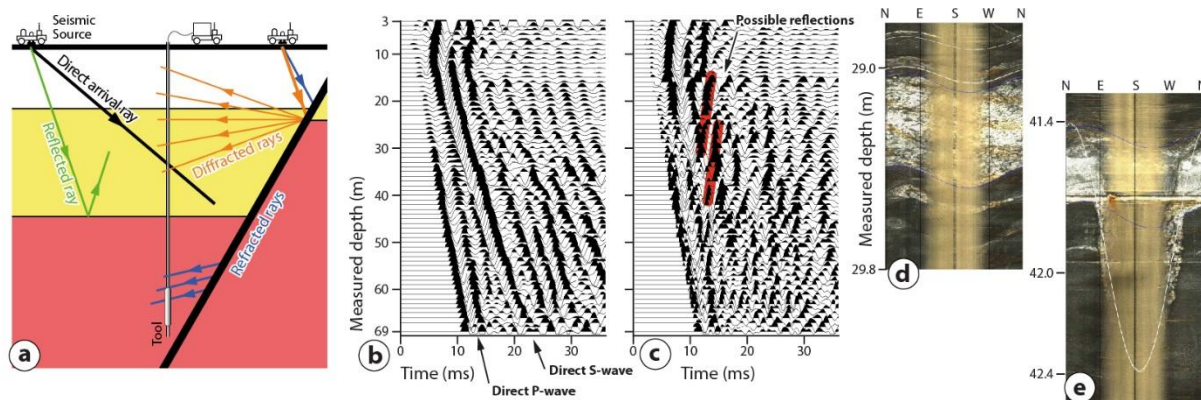


Figur 3: a) Resultat av refraktionseismiska och geotekniska sonderingar på Gullmarsplan station. b) Samma som a) inklusive mark- och bergytor efter interpolation och extrapolation.

Georadarmätning har utförts med frekvens på 160 MHz och 450 MHz. Dessvärre har ingen tydlig reflektion som kunde representera bergnivån identifieras med säkerhet. Inga tydliga förbättringar har erhållits efter databearbetning på kontoret och strategin har då blivit att fokusera på de seismiska mätningarna som ger bättre resultat och är mer tillämplig för en mekanisk karakterisering.

Eftersom hisschaktet är planerat att ansluta en 70 m djup tunnel till markytan kärnborrades ett hål, som döptes till 18S005, på ca. 70 m. Både kärnanalys och optisk filmning förtydligade att berget är av bra kvalitet (Samuelson, 2018; Sigurdsson, 2018). Detta gäller bara längs hålet. Permeabiliteten hos bergmassan bedömdes till låg enligt vattenförlustmätningar (ECsvenska,

2018a och 2018b) vilket stämmer med en bra bergkvalité i stort. Vattenförlustmätningen beskriver de hydrauliska egenskaperna av en bergmassa, vilket, trots medfödda kopplingar, skiljer sig ifrån dessa mekaniska egenskaper. Därför har seismiska mätningar också utförts i samma hål enligt Vertical Seismic Profiling (VSP) metoden (Fig. 4a). I en VSP befinner källan sig på markytan. Seismiska vågorna mäts med en eller fler geofoner som placeras ner i hålet till önskat nivå tack vare driftskabeln. En VSP-profil består av flera mätningar på olika nivåer i hålet som utvinns med en upprepande källa på en och samma ställe på markytan (Fig. 4b).



Figur 4: a) VSP metod och data ifrån 18S005 på Gullmarsplan. b) vertikal komponent efter BP filtrering (0, 3, 500, 700 Hz) och muting. c) "Upgoing wavefield" av b) efter FK-filtrering. d) och e) strukturer påträffat i hålet.

På Gullmarsplan har 6 st. VSP utförts i intervallet mellan ca. 3 m i djup ner till 70 m, med en så kallad 3C-sond (3 komponent). De horisontella komponenterna har omorienterats inför mätning med magnetisk nord som referens. Två profiler har mätts på en och samma gång nattetid enligt protokollet beskriven i bilagan i Place (2010). Förutom P- och S- wave "direct arrivals" och "tube waves" som reflekteras i botten av hålet kan inte andra "arrivals" skiljas ifrån brusnivån (Fig. 4b). F-K filtrering utan eller efter horisontalisering, som syftar att detektera strukturer av olika stupning visar upp signaler (Fig. 4c). Signalernas position i djup verkar korrelera med inslag av grovkornig granitisk bergart inom den finkorniga sedimentådergnejsen (Fig. 4 d och e). Antagligen finns en kombination av variationer i densitet, hastighet, anisotropi, porositet (t.ex. sprickbildning) som skapar dessa signaler. Ytterligare bearbetning av alla 6 st. profiler och 3 komponenter, inkl. mätning på kärnor, skulle behövas för att vässa tolkningen.

### Sockenplan

Bergtunneln som projekteras för ny järnväg på 70 m djup vid Gullmarsplan planeras att nå markytan längre söderut, vid Sockenplan (Fig. 1). Denna anslutning av bergtunneln via ett öppet bergschakt behöver en kartläggning av bergnivån för att hantera tre problem:

- 1- Bergtäckningen ovan bergtunneln ska räcka för att försäkra funktionalitet av installationen samt garantera säkerheten av miljön och boende (Fig. 5a).
- 2- Mängden av materialet som ska schackats, respektive sprängas, och sedan transporteras bort är lönsamt data för entreprenörerna och beställaren (Fig. 5b).
- 3- Bergets egenskaper, särskilt bergkvalitén, är avgörande till både punkt 1 och 2 ovan (Fig. 5c).

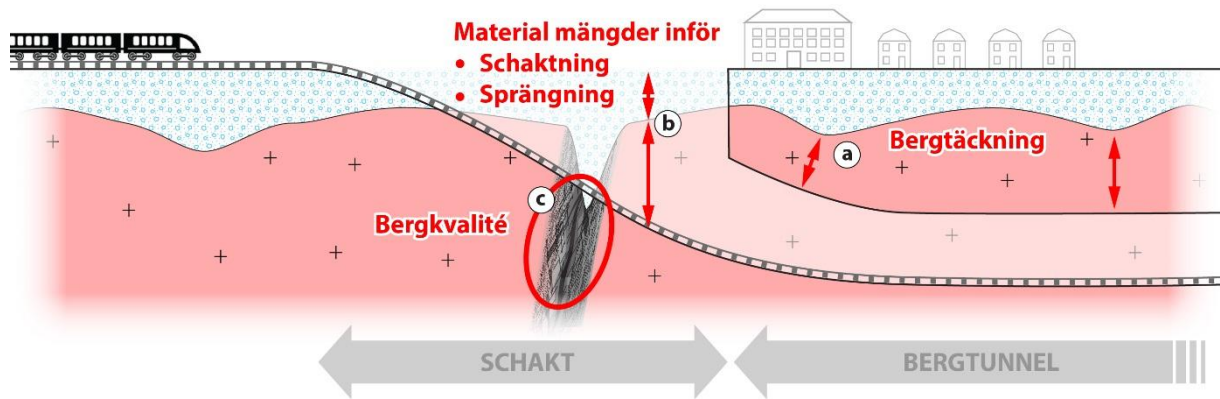


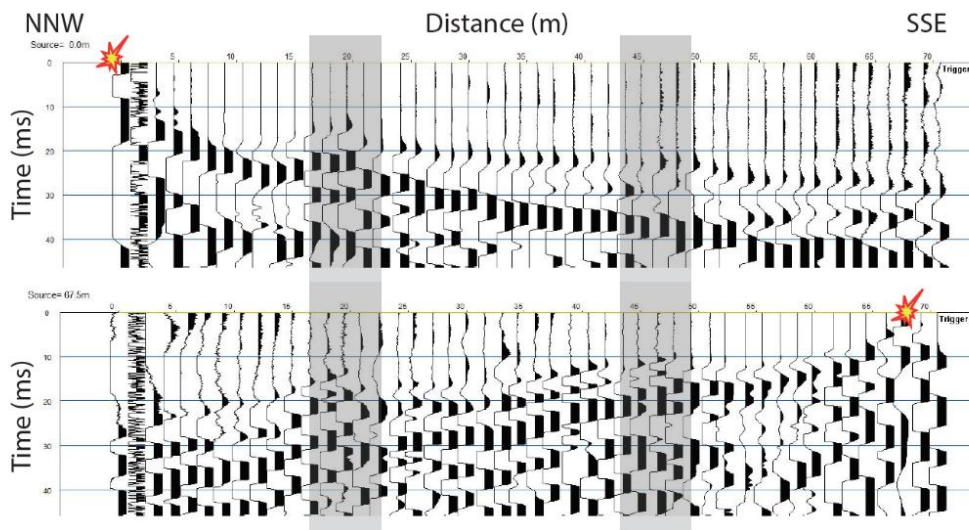
Fig. 5: Problematik vid anslutning av TNG bergtunneln till markytan vid Sockenplan.

I området med planerat bergschakt avslöjade täta geotekniska sonderingar bergnivån under ca. 4 till 6 m sediment och fyllningsmaterial (Stenfeld, 2016). Två borrhål har visat tecken på en brant fördjupning av bergsnivån som tolkades som en svacka, eventuellt relaterat till en eroderad svaghetszon i berget (Fig. 5c). I bergtunnelområdet, som utsträcker sig över en betydligt större yta, var sonderingstätheten klart glesare.

Refraktionsseismik har valts som geofysisk metod för att kartlägga bergnivån i och med att berget är täckt av morän och lera, vilket stör andra metoder så som georadar och resistivitetsmätningar. Förhållande har inte varit till fördel för seismik heller eftersom falska vibrationer (p.g.a. trafik) i samband med dämpning i de ytliga materialen i området (såsom grus på en fotbollsplan) kunde störa mätningen. En slägga har använts för att tillåta smidig och säker mätning i en miljö där det befinner sig boende, förskola, gymnasium, och täta anläggningar under markytan. Totalt 48 st. vertikala geofoner har använts här till skillnad mot vid Gullmarsplan för att genomföra mätningen med två olika strategier:

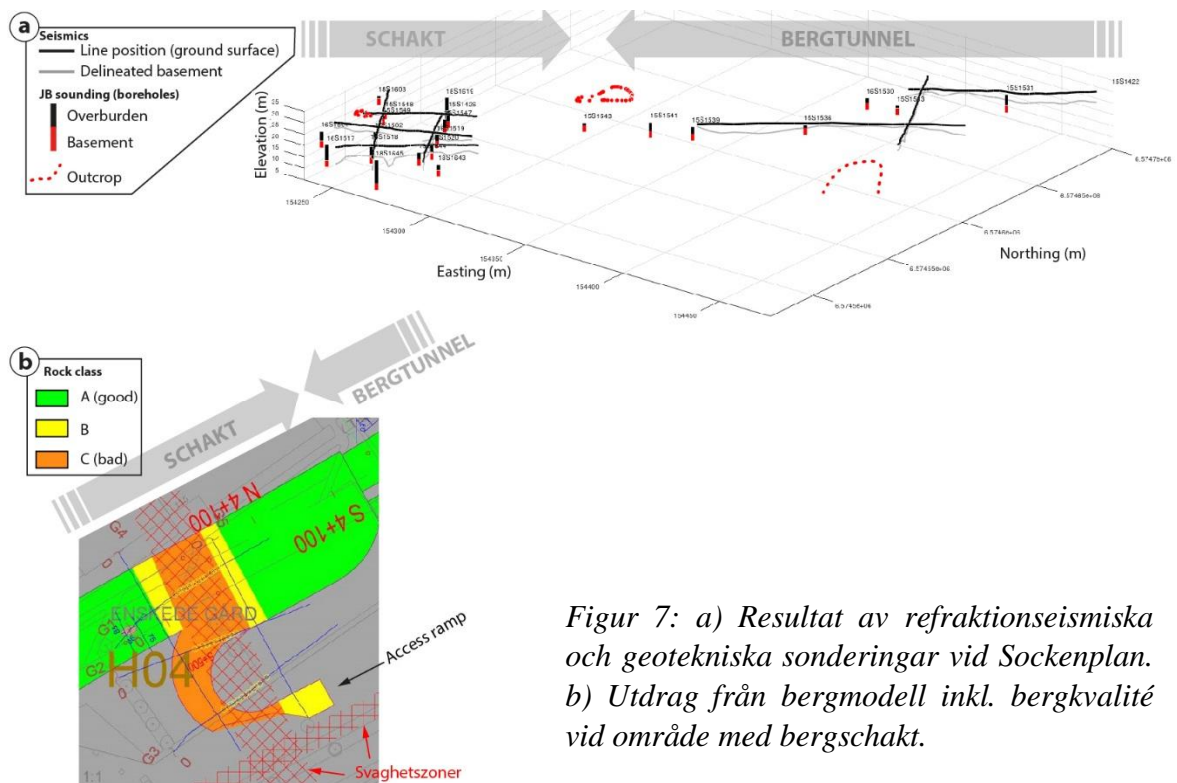
- i område med bergschakt har det använts ett lågt geofonavstånd (1 till 1,5 m) för att prioritera upplösningen och öka chansen att karakterisera utbredningen av svackan. Tre seismiska profiler har korsat den misstänkta svaghetszonen. Två profiler har placerats parallellt den zonen för att ev. tillhandahålla bekräftelse av opåverkad bergnivå några meter ifrån anomalin.
- i det större bergtunnelområdet, där utbredningen av undersökningen stod i fokus, har det använts ett högre geofonavstånd (1,5 till 5 m). Två profiler med förskjutning har följt den planerade tunnelutsträckningen och har sammankopplats med hjälp av en tredje linje i tvärriktning för att bidra till en enkel 3D kartläggning av resultatet.

Rådatat visar ett tydligt refraktionsfenomen förutom vid svackan och längs en till profil som har störts av ett avloppssystem. Stora variationer i "arrival time" är vanliga i insamlade data vilket tolkas som en ojämn yta (topografi) hos refraktorn (Fig. 6).



Figur 6: Exempel på variationer i "arrival time" av refraktionsfenomen som tolkas som variationer i bergnivån. Zoner i grått indikerar grundare bergytan.

Hastigheten hos P-vågorna har bedömts till  $5000 \text{ m.s}^{-1}$  i område där refraktorns topografi är jämn. Ett genomsnittligt hastighetsvärde på  $600 \text{ m.s}^{-1}$  har använts för P-vågorna i sediment och fyllningsmaterial. Resultatet som redovisas i Figur 7a består av höjden av  $5000 \text{ m.s}^{-1}$  kurvorna efter "travel-time" inversion. Detta stämmer generellt överens med JB-sonderingsdata enligt 3D ritning vilket indikerar att hastighetsvärden tillåter karakteriseringen av bergnivån i området (Fig. 7a). Dessvärre kunde inte seismiken kartlägga bergytan i området för svackan med anledning av att penetrations- och upplösningsförmågorna hos metoden har svårt tydliggöra en så begränsad svacka. Fältgeologi, geoteknik och geofysik tillsammans har möjliggjort konturteckningen av bergytan (Fig. 7a) och tolkning av bergkvalitén (Fig. 7b).



Figur 7: a) Resultat av refraktionseismiska och geotekniska sonderingar vid Sockenplan. b) Utdrag från bergmodell inkl. bergkvalité vid område med bergschakt.

I område med bergschakt har svackan kunnat bekräftas. Tack vare den kontinuerliga karaktären av seismiska linjer har bergnivån kunnat förtydligas i informationsklyftan mellan sonderingarna. Utbredningen av svackan har också konturtecknats med ökat noggrannhet. Detta möjliggör en mer exakt uppskattning av mängder av material som ska schaktas och sprängas vid byggandet.

Trots avsaknad av berghällar i direkt anslutning till undersökt bergtunnelområdet har seismiken visat att det är väldigt grunt till berg i vissa delar. Bergnivån ligger mellan mindre än 1 m upp till 4 m under markytan och dessa variationer kan vara släta eller väl markerade med antagligen branta ytor. Eftersom inversionen av seismikdata jämnar ut bergnivåerna har de exporterats tillsammans med positionerna av branta förändringar i bergytan för anmärkning i bergmodellen (se två exemplar i gråt i Figur 6). Dessa kan ev. relateras till svaghetszoner, men det finns inga indikationer ifrån seismiska signalerna (t.ex. berghastighet) för att bekräfta eller avvisa detta.

## **Diskussion – hur ska geofysik bäst komplementära andra metoder?**

### Vikten av den undersökningsbara volymen av undersökningsmetoder

Det traditionella sättet att undersöka jordlager, bergnivån och bergkvalité med användning av fältgeologi och geotekniska sonderingar erbjuder noggrann karakterisering av materialen i direkt närheten av observationen, men innebär uppenbara informationsklyfta emellan. Geofysiska metoder kan ses som ”odestruktiv sondering” och härmed skaffa kontinuerlig information inom informationsklyftan. Därför är den undersökningsbara volymen för en metod, som beror på sin penetrationsförmåga, ett styrande kriterium att beakta för smart planering av geometrin av undersökningarna. I VSP-exemplet har seismiken penetrerat bergmassan och ser bortom borrhålens vägg. Detta kompletterar utmärkt kärnkartering och filmning.

### Vikten av upplösningen av undersökningsmetoder

Både vid Gullmarsplan och Sockenplan har den seismiska metoden kartlagt bergnivån. Eftersom längre linjer kan undersökas för rimliga kostnader kan en tät placering av undersökningslinjerna bidra till en högre noggrannhet hos 3D-modellen. Då exaktheten hos de geofysiska metoderna är begränsad och gör att kalibreringen ifrån sonderingar och geologin är värdefull för att maximera värdet av geofysiska data. Upplösningen, eller i andra ord exaktheten av metoderna agerar tvärtom penetrationsförmågan (ju högre penetration desto mindre upplösning). Detta blir också en viktig del i designen av undersökningarna.

### Känsligheten av undersökningsmetoder

Eftersom seismiken baseras på utbredningen av deformationsvågor är metoden väl tillämpad för att undersöka de mekaniska egenskaperna av berget och därför bidra till stabilitetprognos. Seismisk karakterisering är därför ett naturligt komplement till strukturgeologi och vattenförlustmätningar. Många fler geofysiska metoder finns, med var sin känslighet mot fysikaliska egenskaper (konduktivitet, magnetism, densitet...) och kan erbjuda respektive bidrag till mer kompletta bergmodeller. En karakterisering av en bergmassa med varierande metoder möjliggör byggandet av multi-egenskaper modeller, som används t.ex. i oljeindustrin vardagligt.



## När känsligheten blir en nackdel

Trots att geofysik erbjuder stora fördelar så finns det en risk att mätningarna i fält påverkas av störningar av flera olika typer och omfattning. Vibrationer, starka strömmar på olika frekvenser och därmed elektriska fält, ytliga anläggningar med kontinuerlig trafik, dämpning i de materialen mellan utrustningen och bergmassan, är de vanligaste faktorerna som påträffas i stadsmiljö och påverkar data med brus, och kan t.o.m. skärma de viktiga geofysiska signalerna. I våra två fallstudier har vi i stort sätt lyckats anpassa seismiska metoden till svår förhållande i stadsmiljö genom en genomtänkt justering av framför allt mättningsperiod, geofonfrekvens, geofonavstånd och vikten av släggan. Det misslyckade försöket med georadar vid Gullmarsplan illustrerar väl hur förhållandet kan vara avgörande, och framhåller hur viktigt det är att involvera olika metoder. Avsaknad av resultat i en undersökning blir dåligt resultat i stort endast om man inte vågar ta upp utmaningen att försöka komplementära undersökningen med andra alternativ.

## **Slutsats**

Geofysiska undersökningar har använts som en av flera undersökningsmetoder för bergundersökningar vid Gullmarsplan och Sockenplan inom ramen för projektet TNG. Seismiska undersökningar har bidragit med konturteckning av bergöverytan mellan borrhål och berghällar. Vid Gullmarsplan har 190 m seismisk mätning resulterat i att bergnivån kartlagt längs ca 120 m vilket kan komplettera den tidigare bergmodellen bestående av en berghäll och 5 st. borrhål. Kärnborrhålet 18S005 har påträffat bergöverytan mindre än 20 cm ifrån vad som från seismiken tolkats som berg. VSP-data visar att de största mekaniska variationerna verkar vara associerade med petrologiska variationer. Potentialen finns för att få fram en 3D-bild av strukturerna, detta har dock inte utförts i dagsläget. Vid Sockenplan har de geofysiska undersökningarna förtydligat utsträckningen av en svacka med bekräftelse av bergnivån utanför anomalin. I bergtunnelområdet har bergtäckning bedömts längs ca. 250 m av seismiska profiler (100% av mätning i fält) vilket kompletterar de 6 st. befintliga borrhålen i området.

Detta föredrag syftar till att belysa både flexibiliteten och värdet av geofysiska undersökningar för bergteknik utförd i stadsmiljö. Värdet av geofysiken ökar kraftigt tack vare sonderingsdata som erbjuder kalibrering, samtidigt som geofysik kan öka värdet av sondering genom att identifiera zoner som behöver mer fördjupad undersökning. Vi har identifierat den undersökningsbara volymen, upplösningen, känsligheten (inkl. potentiellt brus) som styrande kriterium i arbetsmetodiken för design av undersökningsprogram.

Fokuset av detta föredrag har varit rent tekniskt eftersom geofysiken kom sent i projektet, när många geotekniska och geologiska undersökningar redan hade utförts. Att använda geofysik, geologi och geoteknik tillsammans som ”en svensk klassiker” kan, vid optimering, skapa mesta möjliga värde med tanke på undersökningskostnad. Ekonomiskt betyder detta att merkostnaden kan enbart motiveras om man får fram information som sänker kostnaden för det framtida genomförandet av investeringen. Eftersom man inte vet detta i förhand och innan vi kan erbjuda ett framtida föredrag om detta inbjuder vi våra ivriga läsare att fundera kring denna sannolikhetsbedömning: hur stor är risken för att råka ut för obehagliga överraskningar i ett projekt? Eller helt enkelt: hur mycket kostar en dålig bergmodell?

## **Avtackning**

Vi tackar teknikområdet "Bergteknik" hos Sweco Civil AB för att ha stött skrivandet av denna artikel och FUT för att tillåta oss att presentera detta material. Vi är tacksamma för våra kollegor på Strukton Rail AB, särskild Jonas Thunberg och andra tillsyningsmän, för att ordna smidig och säker åtkomst till spårområde. Vi tackar också våra kollegor på Sweco, nämligen Carlos Castro, Nils Ceder Henriksson, Paul Lubrano-Lavadera, Kenneth Åkerström, Oskar Sigurdsson, Linus Thelander, och Jan-Eric Nilsson på Väg- och TransportforskningsInstitutet (VTI) för hjälp med mätning, inmätning, databearbetning och givande diskussioner.

## **Referenser**

ECsvenska, 2018a. Vattenförlustmätning vid Gullmarsplan, Hål 18S005.

ECsvenska, 2018b. Vattenförlustmätning vid Gullmarsplan, Hål 18S006.

Gallego Barrón Y., 2019. Förberedande arbeten befintligt Gullmarsplan bussterminal, MUR Geoteknik (filnamn: 97037-G21-24-00001), Rapport till FUT, s. 14.

Place J., 2010. Characterisation of fluid flow paths within a fractured granitic batholith. Application to the Soultz-sous-Forêts Enhanced Geothermal System. University of Strasbourg, France, pp. 367. Available at: <http://scd-theses.u-strasbg.fr/2045/>

Samuelson E., 2018, Filmningsdata från hall 18S005, dokument Geosigma.

Sigurdsson O., 2018. 00.13.12.4 Gullmarsplan befintlig station PM bergkvalitet, Rapport till FUT, s. 11.

Stenfeld F., 2016. Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik och Markmiljö (filnamn: 2700-G21-24-04901), Rapport till FUT, s. 15.