STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
ROCK ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION

Program för Forskning Utveckling och Innovation 2021–2025 för Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo)

Program för Forskning Utveckling och Innovation 2021–2025 för Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo)

Publiceringsdatum: 2020-10-15
Senast uppdaterad: 2023-01-01

www.befoonline.org

BeFo postadress: Box 5501, 114 85 STOCKHOLM. Besöksadress: Storgatan 19

INLEDNING

Bergbyggandet med stora anläggningsprojekt i berg och inom gruvnäringen är idag mer omfattande än tidigare, nya projekt är på väg att starta eller under planering. Det befintliga beståndet av anläggningar och gruvor att förvalta är avsevärt. Anläggningarna innefattar tunnlar, bergrum, schakter och skärningar för transporter, energi och gruvverksamheter. Bland det befintliga beståndet finns också anläggningar som byggs om för att användas i annat syfte än det ursprungliga, vilket kräver nyinvesteringar och förändrade insatser för drift & underhåll. För att klara ny- och ombyggnad, skötsel av befintliga anläggningar och att uppfylla kraven på social, miljömässig och ekonomisk hållbarhet finns behov av kunskapsutveckling och kompetensförsörjning.

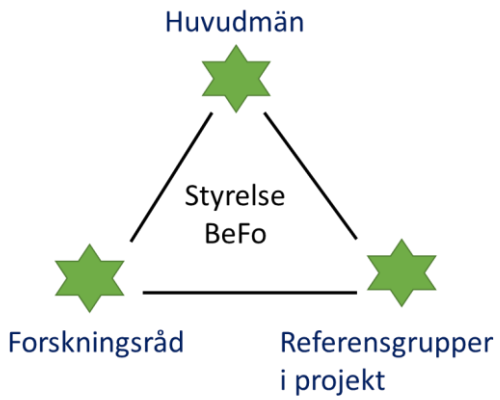
BeFos verksamhet och forskningsprogrammet i sin helhet syftar till att främja ett säkert, hållbart och ekonomiskt ledande ”Bergbyggande” som stärker såväl huvudmännen, branschen, och samhället i stort. För att nå detta syfte krävs helhetssyn och att forskningsområdena går över gränserna mot andra discipliner än de rent bergtekniska. Vi börjar se att forskarna från olika kompetensområden mer och mer samverkar och på det viset både breddar och lyfter forskningen till ny nivå. Det kan gälla frågor där forskare inom geoområdet samverkar med andra inom materialdegradering (betong och stål), artificiell intelligens, hållbarhet mm.

Stiftelsens arbetsformer syftar till att underlätta implementering av resultaten på marknaden.
De projekt som beviljas är behovsdrivna - forskningsprogrammet är framtaget i dialog med BeFos huvudmän inklusive de tekniska högskolorna/universiteten. Forskningsprojekten utförs i nära samverkan mellan parterna vilket ger goda förutsättningar för resultatspridning.

1. Organisation

BeFo är sedan sin tillkomst på 70-talet en stabil och långsiktig aktör som samlar bergbranschen inom forskning och verkar för att utforma en väl fungerande nationell forsknings- och innovationsmiljö inom branschen.

BeFos huvudmän utgörs av en bred krets av företag och organisationer med gemensamt intresse av att utveckla bergtekniken. De representerar myndigheter, universitet, institut, ägare, projektörer, entreprenörer, gruvföretag och leverantörer som är engagerade i planering och genomförande av olika typer av berganläggningar och som svarar för drift och underhåll av desamma. BeFos huvudfinansiärer med Trafikverket och SKB tillsammans med övriga 28 huvudmän (2022) avsätter medel för att i stiftelsens regi genomföra forskningsprojekt inom programmets olika områden, med i förlängningen nyttor för respektive organisations verksamheter.



BeFo har 3 utlysningsperioder per år (januari-april, maj-augusti och september-december) då idéförslag och ansökningar om forskningsmedel skickas in. Syftet med idéförslagen är att forskaren ska kunna få ett utlåtande från BeFos forskningsråd med bedömning av relevans, genomförbarhet och behov av forskningsidén, vilket är intressant vid en eventuell ansökan om medel. Ansökningar om forskningsmedel värderas och bedöms av BeFos forskningsråd som rekommenderar styrelsen inför deras beslut om vilka projekt som ska tilldelas medel. Det förekommer att huvudfinansiärerna inom ramen för forskningsprogrammet utlyser riktade ansökningar inom för respektive verksamhet högt prioriterade forskningssatsningar.

Den budget som BeFo disponerar för befintliga och nya forskningsprojekt är i storleksordningen 20 Mkr per år. Det innebär att BeFo kan ha 30-45 pågående forskningsprojekt, varav drygt hälften är doktorandprojekt. Forskningsprojekten varierar tidsmässigt från kortare insatser på 1 år upp till 4-5 år för doktorandprojekt. Medfinansiering från andra intressenter ser BeFo som positivt och en bred finansiering stärker normalt en ansökan även om det inte är ett krav. Mer och aktuell information om BeFo, utlysningsdatum och dess verksamhet finner man på hemsidan, www.befoonline.org.

2. Prioriteringar inom programmet

Programmet har tagits fram av BeFos styrelse och forskningsråd och baseras i första hand på en workshop med stiftelsens huvudmän, enkät till Svenska Bergteknikföreningens medlemmar och enkät till aktiva forskare inom akademin. Programmet avser att vara en utgångspunkt för att enskilt eller genom samverkan med andra kompetenser ta fram projektförslag för förankring och prioritering i stiftelsens forskningsråd och vidare beslut om genomförande, fattat av styrelsen. Programmet avser också att stimulera till att ta fram utvecklingsbara idéer som i samverkan med BeFo kan utvecklas till genomförbara forsknings- och utvecklingsprojekt.

Vision för 2040

Vårt samhälle står inför fler svåra frågeställningar än på länge. Klimathotet, krav på hållbarhet med bl. a. bättre resursutnyttjande, trycket från en ökande befolkning och urbanisering som måste hanteras samtidigt som vi vill behålla en god levnadsstandard. I flera fall kan byggande som är kopplat till ett bättre utnyttjande av undermarken ge attraktiva lösningar. Tunnlar för energi-produktion, bergrum för energilagring, avfallshantering, odling av både växter och fisk, tunnlar för kommunikation och försörjning är exempel på lösningar som förväntas öka i framtiden. Den ökande urbaniseringen innebär att det börjar bli trångt även under mark vilket ställer särskilda krav på planering och genomförande av undermarkslösningar i tätbebyggda områden. Inom gruvverksamheten finns stora utmaningar, inte minst på grund av stora djup. Speciella behov kan även föreligga vid så väl projektering som konstruktion av slutförvarsanläggningar av miljöfarliga ämnen, så som radioaktivt avfall och kvicksilver, dessa behov kopplar ofta till processer som verkar över långa tidsförlopp och att under uppförande orsaka så liten skada som möjligt.

Gränserna för vad som är en acceptabel arbetsmiljö och miljöpåverkan blir allt snävare vilket innebär en risk att spannet för det genomförbara minskar. För att uppnå och upprätthålla en rimlig och uthållig balans och för ett effektivt utnyttjande av den naturresurs som berget utgör, behöver kunskapen att bryta och bygga i berg utvecklas.

Omfattningen av undermarksbyggandet ser vi öka väsentligt. Idag genomförs undermarksprojekt i berg i Sverige för mångmiljardbelopp varje år. Effektiviseringar genom forskning och utveckling får därför ett stort genomslag.

Baserat på en workshop och andra diskussioner med huvudmännen på temat ”framtida mål och visioner” har en bild formats kring hur branschens utvecklingsnivå och status bör vara i ett längre perspektiv, om cirka 20 år, det vill säga runt år 2040. Hur vill vi att bergbyggnadsbranschen ska se ut och fungera då? Ledord som hållbarhet, miljö och säkerhet i berganläggningar och byggverksamhet, effektivitet samt underhåll framträder som viktiga.

En vision i ett 20-årsperspektiv för den verksamhet som BeFo bedriver kan sammanfattas som följande:

– Placering ny infrastruktur och publika anläggningar under jord kan stödja omdirigering av urban utveckling och stadsplanering. Robusta, väl underhållna och väl fungerande undermarksanläggningar blir en viktig del av en långsiktigt hållbar samhällsutveckling.

– Genom att bibehålla en global konkurrenskraft för kunskap, utbildning och forskning i samhällsbyggnad, anläggningsteknik, bergteknik samt en stark teknisk vidareutveckling av undermarksbyggandet befrämjas en hållbar och robust samhällsutveckling som gynnar den nationella levnadsstandarden.

– Väldokumenterade och beprövade riskbaserade metoder skall användas för att planera, projektera, bygga och driva undermarksanläggningar och gruvor. Metoderna skall balansera projektens behov i ett livscykelperspektiv när det gäller produktionskostnader, funktion, förmåga att stå emot extrema händelser samt drift och underhåll. Vi tror att analysarbete i allt högre utsträckning kommer att genomföras av ingenjörer och samhällsplanerare i samverkan.

– Inom alla samhällsområden ser vi allt snabbare teknikskiften och en genomgripande automatisering och digitalisering, som är drivkraften för nya typer av kompetens, tjänsteproduktion, arbetsmetoder och entreprenörskap. Robotik, datavision och mät-/sensorteknik skapar på sikt förutsättningar för automatiserade robotlösningar när det gäller anläggningar under jord, inte minst med hänsyn till befintliga åldrande anläggningar för att minska riskerna för människan. Artificiell intelligens och maskininlärning är teknikområden som redan börjat användas i bergbranschen. Här tror vi att det finns en stor potential och är nödvändigt att personer med bergbakgrund deltar i utvecklingen att ta fram verktyg för effektivare och noggrannare dataanalys och -tolkning. Stora datamängder insamlas redan idag och kommer att kunna bearbetas på kort tid och med god kvalité.

– Attraktiva och tillgängliga publika anläggningar i berg är en naturlig del i samhällsmiljön när utrymmen under mark planeras med utvecklad hänsyn till nytta, effektivitet, lättillgänglighet, vägvisning, säkerhet och estetik.

Agenda 2030

”Den 25 september 2015 antog FN:s medlemsländer Agenda 2030, en universell agenda som inrymmer Globala målen för hållbar utveckling. De 17 globala målen har i sin tur 169 delmål och 230 globala indikatorer.

Globala målen och Agenda 2030 är den mest ambitiösa överenskommelsen för hållbar utveckling som världens ledare någonsin har antagit. I begreppet hållbar utveckling integreras de tre dimensionerna av hållbarhet: social, ekonomisk och miljömässig. Med Globala målen har världens ledare förbundit sig till att uppnå fyra fantastiska saker till år 2030: Att avskaffa extrem fattigdom. Att minska ojämlikheter och orättvisor i världen. Att främja fred och rättvisa. Att lösa klimatkrisen

Med hjälp av Globala målen är vi den första generationen som kan utrota fattigdomen, och den sista som kan bekämpa klimatförändringarna.” (Ref: UNDP i Sverige https://www.globalamalen.se/)

I samband med BeFos workshop med huvudmännen i maj 2020 diskuterades hur vår verksamhet kopplar till de globala målen. Vi konstaterade att bergbyggnads- och gruvbranschen har beröringspunkter med många av de 17 globala målen på ett eller annat sätt. De mål som ligger närmast vår verksamhet är de globala målen nr 9 och 11 som avspeglas i detta FUI-program.

Innovation och teknologiska framsteg är är nödvändiga för att finna hållbara lösningar för såväl ekonomiska som miljömässiga utmaningar. Att investera i hållbara industrier, forskning, miljövänlig teknik och innovation är alla viktiga sätt att skapa förutsättningar för en hållbar utveckling.

Över hälften av världens befolkning bor i urbana områden, och andelen väntas stiga till 70 procent år 2050. Den snabba och stora inflyttningen till städer ställer nya krav som behöver bemötas på ett ekologiskt, ekonomiskt och socialt hållbart sätt.

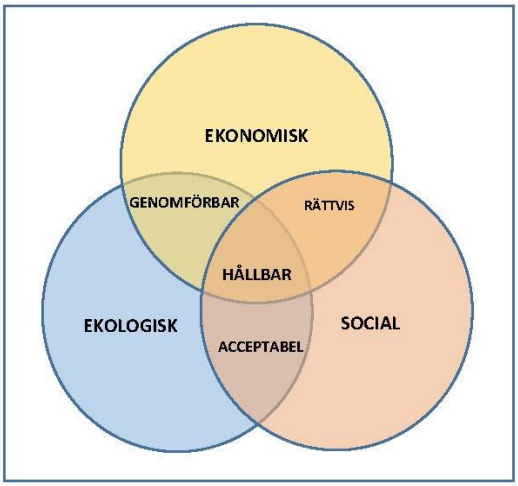
Hållbar stadsutveckling omfattar hållbart byggande och hållbar planering av bostäder, infrastruktur, offentliga platser, transporter, återvinning och säkrare kemikaliehantering som i sin tur kräver ny

teknik och samarbete mellan flera sektorer. Inkluderande och innovativ stadsplanering behövs för att göra städerna säkra och hållbara för framtiden.

Helhetsperspektiv för hållbarhet

I samhället förväntas att branschen tar ansvar för social, ekologisk och ekonomisk hållbarhet. Det behöver få genomslag inom forskningen så att val av metoder och material utgår från ett helhets-perspektiv. För att uppnå detta bör i större utsträckning olika kompetenser samverka.

Ekologisk (miljömässig) hållbarhet. I bergbyggnadsbranschen kan det vara att arbeta med klimatneutrala metoder och material samt energieffektiva maskiner. Gruvorna har idag kommit långt med eldrivna maskiner, men mer effektiva och därigenom miljövänliga metoder för uttag av berg och drivning behöver utvecklas. Val av byggmaterial bör också göras med hänsyn till hållbarhetsaspekten. Här kan utveckling och användning av ”LCA-analys” (Life Cycle Assessment) vara ett sätt att komma vidare mot ökad miljömässig hållbarhet i undermarksprojekten. Genom hållbart tänkande kan till exempel bergmassor från anläggningsprojekt och gruvor betraktas som en resurs och återanvändas.



Social hållbarhet innefattar bland annat hälsa och säkerhet, rättvisa och jämlikhet. Ett väl planerat undermarksbyggande kan frigöra mark med väg- och spårområden till annan markanvändning för exempelvis bostäder, arbetsplatser eller rekreationsområden. Även om man i samband med utförande av berganläggningar har krav om begränsad påverkan på kringboende och andra så påverkas ”tredje man” på olika sätt, till exempel av buller, damning, trafikomledningar med mera. Att skapa säkra och trygga miljöer i berganläggningar är en framtidsfråga där noll olyckor är ett mål. För en säker arbetsmiljö kan automatisering och robotisering vara nödvändigt för att undvika olyckor och incidenter. I det längre perspektivet möjliggör det ”Zero entry”, vilket innebär att inga människor vistas under jord i gruvor eller anläggningsprojekt. Social hållbarhet avser också arbetsmiljön utifrån psykosociala faktorer för personal, både för de som jobbar på kontor och de som är i fält.

Ekonomisk hållbarhet är delvis effektiviteten i processerna som ger bättre ekonomi i undermarksbyggandet, det vill säga ”mer berganläggningar för pengarna”.-Här innebär effektivisering bland annat att man tydliggör processerna för planering, projektering, byggande, underhåll och avveckling, så att branschen kan skapa bättre verktyg och arbetssätt för att uppnå väldefinierade mål med minskande arbetsinsats. Här kan nya kontrakts-, samverkans- och ersättningsformer vara ett sätt att öka produktiviteten och effektiveten om de anpassas till projekt inom tunnel- och bergbyggnad.

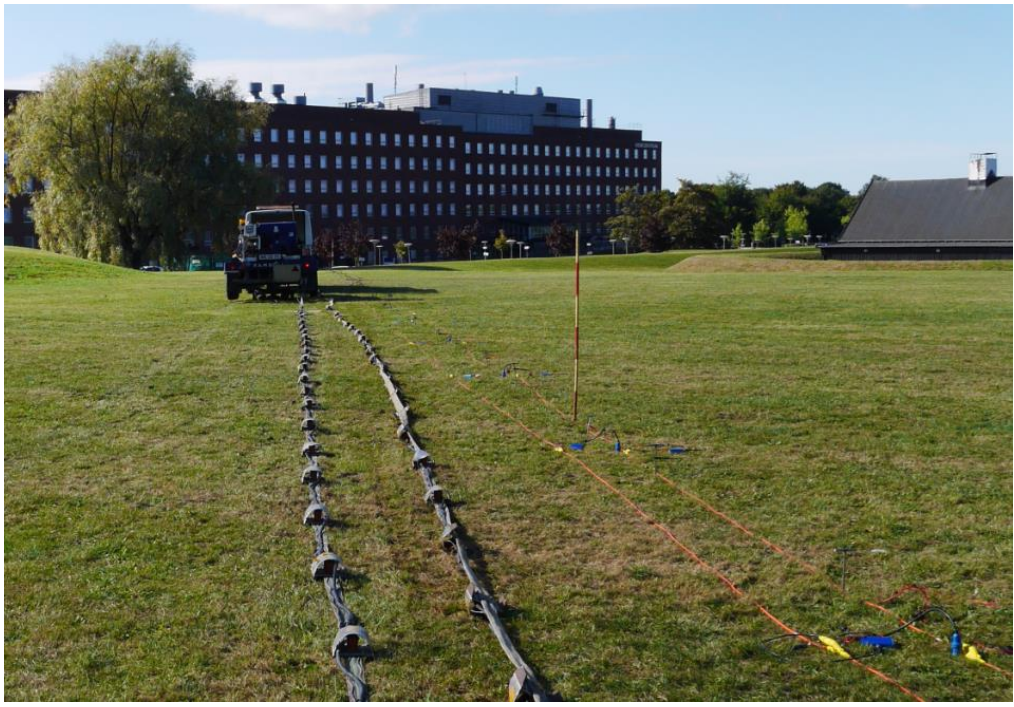
Underhållaspekten är viktig för att trygga en säker och långsiktig drift. Hjälpmedel för att bedöma val av material och utformning finns i form av verktyget ”LCC-analys” (Life Cycle Cost). Som stöd för

tillämpning behöver indata tas fram, och då särskilt referenstabeller över historiska insatser (till exempel ursprungliga investeringskostnader och utfört underhåll), och vidareutveckling av metoder för tillståndsbedömningar. Med hjälp av verktyget så kan undermarksanläggningar utformas för ett rationellt och effektivt underhåll.

3. Infrastruktur för forskning, utveckling och demonstration

Nya idéer till produkter, tjänster, metoder och processer behöver utvecklas genom test och demonstration under verkliga förhållanden. Traditionellt i BeFo-projekt görs det ofta i samband med byggskedet i projekt, vilket oftast fungerar mycket bra, och det fortsätter vi att uppmuntra. Fälttester i pågående projekt är värdefullt samt borgar för implementering av den aktuella forskningen. Det kan innebära olika restriktioner som till exempel tidspress, bristande valmöjligheter och tillgänglighet i både tid och rum, svår arbetsmiljö med mera som kan begränsa värdet av testen och demonstrationen.

Ett alternativ är att använda sig av speciella berganläggningar för forskning, utveckling och demonstration där verkliga förhållanden råder eller kan simuleras. BeFo uppmanar att nyttja test- och demonstrationsanläggningar för att förbättra förutsättningarna att realisera innovationer och implementering av ny teknik inom infrastrukturområdet, gruvor och kraftindustrin.



Mätning (Ramböll) med dubbelvikt streamer, de seismoelektriska och seismiska kabelstammarna till höger i bilden. Foto: Ur BeFo rapport 194.

4. Forskningsområden

Nedan beskrivs de aktuella, delvis överlappande, forskningsområdena. Inom samtliga områden kan förekomma projekt för mer grundläggande utveckling av förståelse och kunskap, liksom projekt som är direkt inriktade mot praktisk tillämpning.

Forskningsområden

1. **Undermarksplanering och gestaltning**
2. **Byggprocessen**
3. **Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift**
4. **Dimensionering av bergförstärkning**
5. **Tätning samt vatten- och frostsäkring**
6. **Omgivningspåverkan med avseende på grundvatten, deformationer och vibrationer**
7. **Berguttag och gruvbrytning**
8. **Drift och Underhåll**
9. **Material – funktion och beständighet**

De ovan redovisade aspekterna social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet inklusive säkerhet och arbetsmiljö är genomgripande och av största betydelse för branschens och samhällets utveckling. De ses dock inte primärt som egna forskningsområden utan som aspekter som är av hög relevans för samtliga nio mer fackinriktade forskningsområden. Aspekterna ska därför alltid analyseras, beaktas, belysas eller på annat sätt behandlas inom varje forskningsprojekt. Syftet är alltså att ge ökad tyngd åt helhetssyn och hållbarhet.

Det förväntade resultatet, sett ur ett hållbarhetsperspektiv med ekologisk/social/ekonomisk hållbarhet, ska också belysas i forskningsansökan. I det fall kompetensen för relevanta hållbarhetsaspekter för forskningsområdet saknas, ska man informera sig om hur forskningsprojektet kan få med det i såväl ansökan, projektets genomförande och i slutresultatet. Man inte förvänta sig att forskare inom ett specialiserat bergtekniskt område även behärskar olika hållbarhetsaspekter, varför vi uppmanar att samverka i forskningsprojekten med experter inom dessa områden.

För genomslag i branschen räcker det inte att byggherrar, projektörer och entreprenörer jobbar för förbättrad hållbarhet. Det behöver komma in redan i forsknings- och utvecklingsstadiet när nya angreppssätt, metoder, utformningar och lösningar tas fram. Att i forskningen ge tyngd åt hållbarhet förväntas inte bara leda till att forsknings-och utvecklingsresultaten är hållbarhetssäkrade, utan även stimulera till eget hållbarhetstänkande och befrämja helhetssynen i branschen.

Image by nasidastudio/shutterstock.com

1. Undermarksplanering och gestaltning

Städerna växer och förtätas, vilket är mycket påtagligt i Sveriges och i hela världen – en global urbanisering. En tätare stadsstruktur kan bidra till en hållbar stadsutveckling men ställer krav på god tillgänglighet till stadens utbud. Här bidrar klokt planerade och genomförda undermarkslösningar till att ge en god livsmiljö.

Det är kommunerna som har huvudansvaret för planeringen av användningen av mark och vatten. Det handlar om att uppnå en attraktiv stadsmiljö och samtidigt klara nationella och regionala klimat- och miljömål. Genom att förlägga vissa funktioner under mark kan man uppnå bättre utnyttjande av marken ovan jord samtidigt som man bygger upp ett välfungerande samhälle med goda levnadsvillkor. Regionerna ansvarar för att ta fram långsiktig övergripande fysisk planering. Detta utgör ett stöd i kommunernas fysiska planering avseende mellankommunala och regionala planeringsfrågor.

Behov

Undermarken är en ändlig resurs även om man kan expandera till djupare nivåer. Det är därför viktigt att ha en god planering där man dokumenterar befintliga anläggningar, tar höjd för kommande undermarksanläggningar i närtid och även reserverar plats för framtida tänkta behov. Utan en långsiktig undermarksplanering finns risken att de mest attraktiva lägena blockeras av den som bygger först enligt principen ”först till kvarn”. Risken är då, att hänsyn till samhällsintresset på längre sikt inte beaktas och att attraktiva lägen ”förbrukas” och blockeras för andra, kanske viktigare, ändamål. Återanvändning av befintliga anläggningar för andra ändamål är också exempel på resurshushållning, till exempel konvertering från skyddsrum som inte behövs till museum.

Den fysiska planeringen sköts av kommunerna som har ett planmonopol. Här upplevs en brist avseende dels den långsiktiga planeringen av undermarken och dels den nödvändiga integrationen av det som befinner sig ovan respektive under jord. Ett internationellt begrepp för en plan avseende områden under jord är ”Underground Master Plan”. Vi saknar motsvarande i Sverige men det finns exempel på andra platser där man infört detta verktyg för att få med områden under jord i stadens fysiska planering. Vi ser behov av forskning och utveckling inom undermarksplanering och integrering med övrig kommunal planering där samtliga relevanta georesurser beaktas. En sådan integrering där man samlar befintliga och planerade anläggningar stärker och effektiviserar samhällsplaneringen i stort och lyfter inte minst fram värdet av undermarken som resurs.

Forskning och utveckling behövs vidare för att ta fram bättre underlag och verktyg för undermarks-planering. Här finns stor potential att byggskedets data och modeller effektivt kan användas i efter-följande förvaltning av berganläggningar. Utveckling inom detta område har tagit fart, men en enhetlig metodik för att hantera dessa frågor saknas.

I planeringsprocessen behöver konsekvenserna av förändringarna beskrivas och bör omfatta sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter. Den sociala konsekvensbeskrivningen behöver belysa förhållanden som uppkommer när människor vistas under mark, och det finns idag inte mycket forskning i Sverige och en begränsad forskning internationellt inom detta område. Exempelvis

innebär avsaknad av dagsljus och möjligheten att orientera sig i förhållande till omgivningen och omständigheter under jord som man behöver ta hänsyn till. Därför är utformning och gestaltning viktig för att anpassas till människans upplevelser och skapa positiva miljöer som man söker sig till

Utformning och gestaltning är viktig för att anpassas till människans upplevelser och skapa positiva miljöer under mark. I Citytunneln station Triangeln, Malmö, har naturligt dagsljus en viktig funktion i utformningen. Bild: Sweco.

2. Byggprocessen

Med byggprocessen avses här skedena från projektering av en anläggning till och med att relationshandlingar färdigställts och anläggningen tas i bruk.
Branschen har många projekt igång men lider samtidigt av att flera genomförda projekt präglas av förseningar och kostnadsökningar. Det finns flera orsaker till att det är svårt att göra riktiga bedömningar i tidiga skeden. En utredning om viktiga ”framgångsfaktorer i bergbyggandet” visade att det ofta beror på relationerna mellan olika parter i planerings- och byggprocessen. Nya former för samverkan mellan byggprocessens olika parter har prövats med det gemensamma intresset att bygga anläggningar som motsvarar allas förväntningar, dvs. en slutprodukt som uppfyller ställda krav inom planerad budget och som för leverantörerna kan tjäna som referens för kommande arbeten. Även granskningsförfaranden är verktyg för att upplysa om brister och möjligheter i tidigt skede eller under utförande av arbeten. Kommunikation och samverkan i branschen och mellan denna och samhället med politiker och allmänhet, skall förbättras.

Behov

Exempel på behov kan vara; att utveckla bättre former för ersättning, kvalitetskontroll, riskvärdering och riskfördelning specifikt för undermarksprojekt som är anpassade till den interaktiva process som krävs i och med att bergförhållandena inte är fullt kända på förhand. Funktionskrav har kommit in i branschens handlingar på senare tid och styr byggprocessen. Nya kontrakts-, samverkans- och ersättningsformer behöver utvecklas för att öka effektivitet och samverkan i projekten.

Byggande med ”observationsmetoden”, innebär att man utgår från en dimensionering av förstärknings- och tätningsinsatser, som justeras efter i förväg förberedda förändringar i dimensioneringen om observationer av konstruktionens beteende i byggskedet görs. Det finns ett behov av att utveckla ersättningsformer som bättre än idag är anpassade till denna metodik och som tydligt klargör riskfördelning och ansvar i och med att designen successivt förändras. Hur definierar vi kraven på konstruktionen och hur verifieras de? Ersättningsformer och riskfördelning har visat sig särskilt angeläget i samband med injekteringsarbeten. Det kan avse att i bygghandlingar tydligare precisera vad som i olika skeden är beställarens respektive entreprenörens ansvar (funktion, mängder, tidsåtgång etc.). Det finns behov av en övergripande diskussion om former för planering och genomförande av bergprojekt med utgångspunkt i hittillsvarande erfarenheter och möjligheter till optimering av hela processen. I detta ingår frågan om acceptans baserad på en väl fungerande kommunikation och samverkan med samhälle och allmänhet med ett hållbarhetsperspektiv. Förundersökningarnas omfattning och roll i planeringsskedet och hur informationen används i den fortsatta processen bör analyseras.

Citybanan, Stockholm. Foto: NCC, ur BeFo rapport nr. 154.

Hållbarhetsperspektivet behöver genomsyra projektet och analys av metoder, material och påverkan bör alla vara med tidigt i ett projekt. Ett exempel kan vara klassificering av uttagna bergmassor för att få en bra avsättning för dessa, en åtgärd som bör finns med redan i upphandlingsfasen. Vidare finns behov av LCA-analys (Life Cycle Assessment) som också kan komma till nytta i de tillståndsprocesser ett projekt går igenom.

Modeller för visualisering och databaser är ett tillskott för kvalitetssäkring och dokumentation av processerna. Men här behöver användbara metoder och rutiner utvecklas för ett branschgemensamt synsätt och nyttjande. Artificiell intelligens (AI) och maskininlärning (ML) kan användas i samband med kontroll och inspektioner av utfört arbete för att effektivisera arbetet och öka kvalitén.

3. Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift

Berg- och undermarksbyggande är beroende av omsorgsfulla undersökningar och förhandsbedömningar av bergförhållanden i olika skeden av byggprocessen, såväl i planeringsskedet, som under byggande och i drift- och underhållsskedet.

Behov

Exempel på behov kan vara att; skapa bättre bas för bedömningar grundade på ingenjörsgeologisk erfarenhet och väl sammanvägda undersökningsinsatser både före och under byggandet, men också i driftskedet för planering av underhåll. Det föreligger ett stort behov av att systematiskt insamla och lagra bergtekniska och hydrogeologiska data för att kunna nyttjas i framtida projekt. Möjligheter till bättre informationsinsamling, tolkning av insamlade data, utveckling och användning av nya verktyg samt visualisering av resultat är angelägna att provas för att främja bättre planering och beslut i olika skeden av bergprojekt. Lagring och tolkning av data i 3D-4D används redan idag i anläggnings- och gruvbranschen från planering till byggande och drift. Metoderna behöver utvecklas och implementeras för bättre kvalitetssäkring, prognoser och dokumentation genom hela projekt och för framtida projekt. Möjligheten att få realtidsprognoser av berginnehåll och dess egenskaper vid berguttag kan också möjliggöra produktion som är bättre avseende såväl arbetsmiljö som effektivitet.

Flera egenskaper undersöks i fält eller på laboratorium. Hit hör bergmekaniska och andra fysikaliska egenskaper som kräver speciell teknik och behandling av primärdata. Det finns behov av bättre modeller och teknik för datainsamling samt tolkning och visualisering av information med syfte att snabbt, i realtid, ge beslutsunderlag med tydlig redovisning. Osäkerhetsanalyser för att åskådliggöra tillförlitlighet hos data bör utvecklas.

Tolkning och redovisning av undersökningsresultat, kopplas till hur data bäst utnyttjas vid successiv uppdatering av konceptuella modeller för karaktärisering av bergmassan och dess bergmekaniska och hydrogeologiska egenskaper. Ingen metod kan ge all information som är mätbar utan olika metoder kompletterar varandra och här ger samtolkning förbättrade kunskaper om de geologiska förhållandena.

Grovklassning av bergslänter längs vägar Höga Kusten, 2019. Foto: Yuliya Zhuk/Sweco.

Nya metoder att prognosticera bergets inre struktur och egenskaper med utnyttjande av teknik från andra teknikområden görs och bör prövas ytterligare, till exempel för oförstörande provning och kvalitetskontroll av material och produkter från annan industri eller utvecklingsverksamhet. De kan vara baserade på beprövad eller ny teknologi och användbarheten bör prövas i fält för att demonstrera den praktiska nyttan.

Behov av bättre undersökningar gäller i olika skalor och skeden, från övergripande information under tidig planering till tillståndsbedömning av närzonen (inklusive effekter av sprängskador) av en anläggning som stöd för bedömning av förstärknings- och tätningsinsatser och senare för planering och utförande av underhållsarbeten. Detta forskningsområde innebär ofta insamling av stora datamängder som ska systematiseras och tolkas. Nya tekniker som artificiell intelligens (AI) och maskininlärning (ML) kan både effektivisera och höja kvalitén i arbetet.

I djupa berganläggningar (så som i många gruvor) kan stora bergdeformationer innebära omfattande åtgärder och i mycket allvarliga fall måste delar av gruvan överges. Strategier och tekniker för att mäta deformationer i berg och förstärkning för att ha en god beredskap är därför ett forskningsområde som behöver utvecklas.

4. Dimensionering av bergförstärkning

Dimensionering och bergförstärkning avser berganläggningar under jord på olika djup, men även grundläggning på berg och bergsslänter, samt förstärkning vid erosionsproblematik.

Det ”bärande huvudsystemet” i en berganläggning består som regel av bergmassan i samverkan med förstärkning. Dimensioneringen kan därmed inte grundas på samma typ av beräkningar som för andra byggnadsverk av stål, betong etc., bland annat därför att lasteffekt och motståndsförmåga inte är entydiga och oberoende. Andra svårigheter hänger samman med att bergmassans egenskaper styrs av bergets sprickstruktur och att dess egenskaper och kvalitet bestäms genom fåtalsprovning och därtill är skalberoende. Dessutom är själva utförandet av förstärkning en osäkerhet som behöver beaktas. Frågor om materials brandtålighet ska också beaktas i samband med projektering och byggande och det är ett område att utveckla vidare.

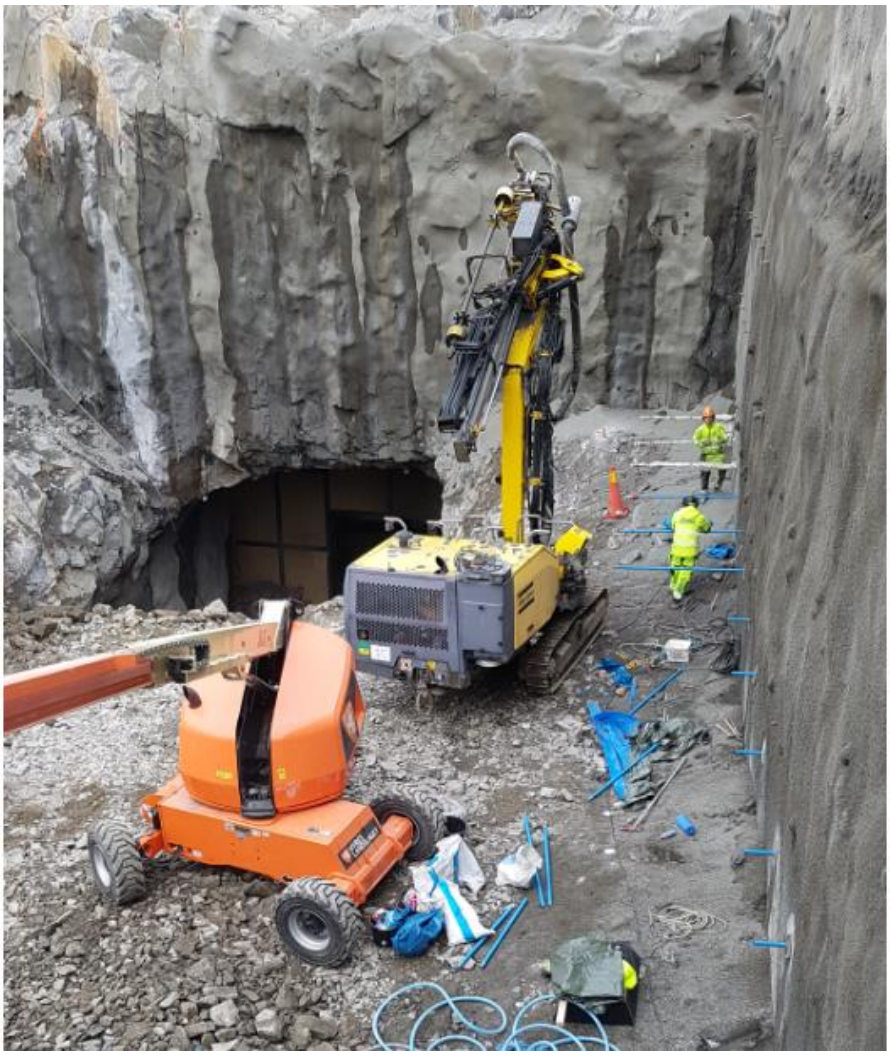
Behov

Exempel på behov kan vara att; Utveckla metoder, tekniker och praktiska framgångsvägar för säker förstärkning och kontroll av förstärkning över tid. Utveckling och tydliggörande av dimensioneringsmetodik som uppfyller krav och förutsättningar enligt Eurokod 7. Men även utveckling av grunderna för observationsmetoden för praktisk tillämpning i bergmekanisk design. För att uppfylla normens krav krävs fördjupade kunskaper inom undersökningsteknik och tolkning av resultat (se ”Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift”), liksom för karaktärisering av bergmassans egenskaper, och användning av materialmodeller för berg och förstärkning samt beräknings- och verifieringsmetoder. Även effektiva och förbättrande granskningsprocesser för att kontrollera stadga, beständighet, storskalig stabilitet och påverkan av tredjemans intresse (till exempel Geoteknisk kategori 3) av stora anläggningsprojekt kan behöva studeras. I samband med dimensionering behöver hänsyn till arbetsmiljön vid utförande av förstärkning tas med, som till exempel bultars längd och vikt. Metoder för övervakning av förstärkningens kapacitet, exempelvis detektion av bultbrott, är idag inte välkänd och behöver utvecklas.

För gruvor och andra djupförlagda anläggningar (exempelvis lageranläggningar) eller anläggningar med stora spännvidder behövs förstärkningsstrategier för att hantera stora deformationer. De stora spänningar som förekommer på större djup kan vid berguttag framkalla inducerade skalv (seismiska händelser) som kräver speciella åtgärder och produkter. Förstärkningselement och system som är eftergivliga och kan hantera dynamiska laster, så kallad dynamisk förstärkning, behöver utvecklas för denna typ av anläggningar.

Frågan om bergmassans egenskaper och hur de hanteras i konceptuella modeller är komplex och rymmer en mängd frågeställningar som materialmodellers osäkerhet. Beräkningar kan göras med analytiska lösningar eller numeriska metoder, i båda fall behövs metoder för att beräkna spridningar utifrån stokastiska fördelningar anpassade för praktisk tillämpning. Samverkanskonstruktioner kan ses i två huvudgrupper, dels den situation som är vanligast i vårt land, att bergmassan har den primärt bärande funktionen, som säkras med en samverkande bult- och ytförstärkning (sprutbetong), dels situationer när bergets bärförmåga är otillräcklig och det krävs en förstärkning som

dimensioneras baserad på samverkan, vanligen med utgångspunkt i bergets responskurva (Ground Reaction Curve). I anslutning till samverkansfunktionen finns frågor kring förstärkningselementens bärförmåga i aktuella last- och deformationstillstånd. Hit hör exempelvis fiberarmerad sprutbetongs deformationsegenskaper och last-upptagande förmåga. Kännedom om förstärkningsmaterials funktion i samband med brand är nödvändig för att kunna bedöma funktion och säkerhet avseende brand.



Schakt i Henriksdal. Projekt: Stockholms framtida avloppsrening, 2020. Foto: Yuliya Zhuk/Sweco.

5. Tätning samt vatten- och frostsäkring

Forskningsområdet ”Tätning samt vatten- och frostsäkring” för berganläggningar är nära förknippat med flera hållbarhetsaspekter och kan exemplifieras med grundvattenpåverkan, effektivt bergbyggande, säkerhet, rationell drift och underhåll, miljön i och funktion av anläggningarna.

Hantering av vatten i berg vid anläggande och drift av tunnlar, bergrum, dammar och vissa bergskärningar har som regel ett objektsanpassat täthetskrav som följer av aktuella grundvattenförhållanden och funktionskrav på anläggningen. Funktionskrav kan vara tekniska, ekonomiska eller säkerhetsrelaterade, till exempel inga droppar eller isbildning på installationer/vägbana eller kostnad för utpumpning av inläckande vatten. Ibland avses estetiska funktionskrav som dropp eller fuktfläckar. Kravet på täthet kan ofta uppfyllas i två delar, där 1) förhindrad grundvattenpåverkan kan klaras genom tätning av sprickor i berget, medan 2) funktionskravet för berganläggningen kan åstadkommas genom vatten- och frostsäkring med dräner eller olika former av icke täta eller täta inklädnader.

Behov

Det föreligger ett behov av att utveckla vatten- och frostsäkring. Därför föreslås att utveckla alternativa lösningar för dräner och inklädnader där man också beaktar de långsiktiga drift- och underhållsaspekterna. Nya material som tas fram ska också nå upp till de specifika krav på brandtålighet som ställs för den aktuella placeringen.

Tätning samt vatten- och frostsäkring i berganläggningar kräver en helhetssyn där ofta mer än en åtgärd behövs för att få fram en lösning. Det finns ett behov av funktionsteknisk, ekonomisk och produktionsteknisk utvärdering av använda tätningssystem. LCC-metodiken kan användas för att utvärdera olika alternativ, till exempel injektering, dräner, inklädnad eller vattentät lining ur ekonomiskt perspektiv. Mot detta kan ställas alternativet att övergå till infiltration. Systemtänkande används idag på vissa håll men metodiken kan förfinas och ges bättre indata.

Bjäsholms tunneln, Ådalsbanan Foto: Kari Korhonen/YIT.

6. Omgivningspåverkan med avseende på grundvatten, deformationer och vibrationer

Bedömning och kontroll av olika typer av omgivningspåverkan ingår som en naturlig del i berg-byggnadsprojekt. En omgivningspåverkan som i vissa fall kan vara bestående och medföra stora kostnader är avsänkning av grundvatten.

Det är ofta komplexa hydrogeologiska samband som behöver utvärderas i samband med ett anläggningsprojekt vilket gör att bedömning av behov och val av åtgärder för att mildra grundvattenpåverkan kräver en djupare förståelse av olika samband. Bedömning av omgivningspåverkan är nära förbundet med vilka täthetsbehov som föreligger eller vilka skyddsåtgärder som måste vidtas. Detta kunskapsområde ger viktig information till andra teknikområden som ingår i anläggningsprojekt: vattenkemiska bedömningar för materialval, grundvattennivåpåverkan som indata för att bedöma portryckförändringar och risk för sättningar samt underlag till miljökonsekvensbeskrivningar och tillståndsansökningar. Miljödom är kravställande baserat på tillståndsansökan och reglerar i hög grad undermarksprojektens genomförande och ofta anläggningarnas drift och underhåll.

Gruvverksamhet påverkar omgivningen på många olika sätt. Den omgivningspåverkan som i första hand behöver hanteras är vibrationer från gruvinducerade seismiska händelser och markdeformationer från berguttag vid vissa brytningsmetoder. Gruvor byggs successivt ut och därför ökar också omgivningspåverkan med markdeformationer(/sättningar) till allt större yta ovanför (och utanför) den aktiva gruvan. Med gruvbrytning på allt större djup och därigenom högre bergspänningar ökar också seismiska händelser i form av vibrationer i bergmassan, inte sällan i områden på relativt stort avstånd från själva gruvan. En omgivningspåverkan som gäller för både gruvor och anläggningsprojekt för bergbrytning vid sprängning är utsläpp av sprängämnesrester till grundvattnet/recipienten.

Behov

Det föreligger behov av en bättre hantering av osäkerheter i prediktion av grundvattensänkning, skydds- och tätningsåtgärders effektivitet samt hydrauliska parametrar. Denna osäkerhet finns både för ostörda data och för bygg- och driftskede.

Det finns också ett behov av forskning med ett holistiskt systemtänkande där hydrogeologiska egenskaper och tekniska lösningar sammankopplas för att motverka grundvattensänkning vid en anläggning. Som en del av detta finns behov av att förbättra LCC-analys av att genomföra tätning eller infiltration samt bedömning av totala konsekvenser vid omgivningspåverkan avseende; ekonomi, påverkan på intilliggande konstruktioner (inklusive. påverkan på grundvatten i jordlagret och portryck i lera som kan orsaka sättningar) och miljö.

Förändringar i vattenkemin och dess miljökonsekvenser får inverkan på konstruktionsförutsättningar, korrosion och betongdegradering. Kunskap inom dessa konsekvenser bör utvecklas både vid uttag av grundvatten, inläckage och infiltration under både genomförande- och driftskede av en anläggning.

För tillståndsprocessen är omgivningspåverkan på grundvattenresurser och ytvattensystem en viktig aspekt. En avsänkning med enbart någon decimeter i grundvattennivå kan ha betydelse för vattenbalansen i ett avrinningsområde. Bättre förståelse behövs om hydrogeologiska system och

utsläpp av vatten som läckt in i undermarksanläggningar samt återinfiltration. Likaså att förstå hur berguttag och deformationer påverkar djupa grundvattenflöden samt vilka effekter det i sin tur medför nära markytan. Gemensamt för bergbrytning där sprängämnen används är att förstå, kunna prognosticera och påverka vattenflöden för att på så sätt minimera utsläpp av sprängämnesrester till grundvatten eller recipient. Avseende tillståndsprocessen så upplevs den idag som svåröverskådlig och otydlig, vilket kan innebära att för stora eller små arbetsinsatser görs i förhållande till det verkliga behovet. Här behöver processen tydliggöras avseende vilka underlag som en tillståndsansökan ska grunda sig på med syfte att ta fram de ramar som ska gälla, d. v. s. en mer förutsägbar process.

Det finns ett behov av att kunna förstå, prognosticera och påverka vibrationer och deformationer baserat på kunskap om bergmassan, spänningsförhållanden och inte minst seismologi.

Test av vattenkvalité i omgivning av berganläggning
Foto: Shutterstock.

7. Berguttag och gruvbrytning

Effektivisering eftersträvas för att uppnå god kostnads- och tidshållning. Med ökade krav behöver såväl organisation, processer, personalens kompetens och maskiner utvecklas.

Två olika drivningsmetoder dominerar bergbyggande under jord i Skandinavien idag. Borrning/sprängning och mekanisk brytning. Den konventionella metoden att borra och spränga har utvecklats genom allt effektivare metoder och utrustningar. Exempelvis har borrsjunkhastigheten ökat kraftigt.

Alternativa metoder för berguttag är vajersågning och hydraulisk spräckning, metoder som framgångsrikt använts i urban miljö med speciella krav p. g. a. liten bergtäckning till kringliggande bergutrymmen. De metoderna är tillsammans med fullortsborrning med TBM mer skonsamma mot berget. Skonsammare metoder innebär en mindre uppsprickning och begränsad skadezon. Det i sin tur begränsar den förstärkning som krävs, minskar mängden bergmaterial som ska transporteras bort och förmodligen också begränsar mängden inläckande vatten genom det kvarvarande berget. I en miljö med höga bergspänningar, vilket blir allt vanligare i gruvorna p. g. a. större brytningsdjup och kompetent berg, kan däremot en stor skadezon få en dämpande effekt på smällberg (rock burst) med ökad säkerhet och minskade förstärkningskostnader som följd. I andra djupa berganläggningar exempelvis vid slutförvaring av miljöfarliga ämnen är det av större intresse att minimera skadezonen. Djup förståelse för hur skadezonen uppstår och utvecklas behövs för att kunna styra mot önskat resultat

De metoder som används bör bedömas utifrån ett hållbarhetsperspektiv, d v s med avseende på ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter, till exempel arbetsmiljö. Det kan innebära att det som igår var ”rätt” metod inte håller måttet idag vilket ställer krav på forskning och utveckling inom området.

Behov

Framdriften av en tunnel eller en ort representerar ett stort värde och här är tidsaspekten en väsentlig ekonomisk faktor. Exempel på behov kan vara; effektivisering av produktionsprocessen med syfte att sänka kostnaden per meter tunnel, en kostnad som ständigt ökat, och i förlängningen minska miljöpåverkan. Vidare kan det vara utveckling av organisation eller utbildning som bidrar till effektivisering. Byggandet bör vara skonsamt mot kvarvarande berg och anläggningar i närheten. Metoden för framdrift påverkar arbetsmiljö, yttre miljö, drift och underhåll, täthet och förstärkningsbehov. Det innebär behov att utveckla metoder, teknik och praktiska framgångsvägar för framdrift i syfte att minimera tid och kostnader för själva drivningen samt för tätning och förstärkning. För att skapa bästa möjliga resultat avseende den färdiga anläggningen, dess kostnader och säkerhet i ett livscykelperspektiv. Arbetsmiljön i samband med manuellt utförda moment vid förstärkning kan behöva utvecklas med säkrare metoder, till exempel med automatiserade operationer. Vibrationspåverkan på omgivande konstruktioner och tredje man är viktig så man erhåller en optimal sprängning/framdrift med hänsyn till omgivningspåverkan. Här finns behov av bättre analysverktyg.

Förekomst av seismiska händelser och deformationer är kopplat till bergutrymmens design och geologi, och här finns behov av mer forskning. Stora djup, som är aktuellt vid lagring av radioaktivt material och gruvbrytning, innebär ökade bergspänningar och mer frekvent seismisk aktivitet orsakat av bergbrytning. Dessa inducerade skalv utgör ett säkerhets- och arbetsmiljöproblem som man behöver veta mer om för att kunna bedöma risken att de uppkommer. Metoder att prediktera risker, övervaka och systematiskt samla in data behöver vidareutvecklas. Skadezonens effekt på bergstabilitet i kombination med höga spänningar behöver undersökas ytterligare och intelligenta tekniker för att övervaka sprickutbredning utvecklas.

Gruvbrytningsmetoder behöver utvecklas för hållbarhet (arbetsmiljö, miljö etc.) och förbättrad lönsamhet. Utvecklingen i gruvor leder ibland också till en utveckling av metoder i anläggnings-branschen. Bergbrytningsmetoder för anläggningar avsedda för lagring av miljöfarliga ämnen kräver produktionsmetoder som minimerar skadezonen och noggrannhet, och även här behöver kostnadseffektiva metoder utvecklas. Maskinernas utveckling med elektrifiering, automation och kommunikation med andra enheter innebär nya möjligheter för en utveckling av processerna mot högre effektivitet och förbättrad arbetsmiljö. I vissa gruvor kan ortdrivning utföras utan att någon människa behöver gå in i arbetsområdet, visionen ”Zero Entry” blir mer och mer realistisk.

Borraggregat från byggnationen av ny ramp, underjordsförvaret i Rönnskär. Foto: Boliden. Ur BeFo Verksamhetsberättelse 2016.

8. Drift och Underhåll

Drift- och underhållskostnaden för berganläggningar ökar och det är väsentligt att bedöma vilka insatser som är de riktiga att göra redan under bygg- och installationsskedet jämfört med de som kommer att behöva göras under drift- och underhållsskedet. Kostnadsaspekten är viktig och det finns flera etablerade metoder för att väga samman investeringskostnader med förväntade kostnader för drift och underhåll. Systematisk LCC-analys (livskostnadsanalys) ska utföras, d v s redan under projektering då material och utförande slås fast. Metoden har tillämpats i samband med några undermarks- och tunnelprojekt. LCC-analysen bör följas upp med vad som verkligen byggts och med eventuella reparationer/byten så att den är uppdaterad.

Många befintliga anläggningar har uppnått sådan ålder att mer genomgripande underhållsinsatser kan vara aktuella. Det gäller särskilt vattenkraftanläggningar där många varit i drift sedan mitten av nittonhundratalet, men också många väg- och spårtunnlar. Enbart ålder eller tid är inte avgörande för behovet av underhåll. I dag talar vi om tillståndsbaserat underhåll och då är metoder som används för tillståndsbedömning intressanta. Vilken information fordras för planering, uppföljning och ledning av underhållsarbeten? Hur kan en optimal avvägning ske mellan kostnader för investering, underhåll och risk? Dessa frågor visar att drift och underhållsfrågorna bör vara med under såväl projektering och byggande för att få god inspekterbarhet och bygga underhållsvänligt.

Behov

För att svara upp mot lagens krav och företagsekonomiska villkor är modeller för analys av livscykelkostnader viktiga verktyg. Tillämpning av modellerna kräver tillförlitliga indata. Krav på sådana data från berganläggningar behöver specificeras och prövas i tillämpning av dessa modeller. Exempel på behov kan vara att; utveckla strategier och metoder för att fastställa anläggningars status med hänsyn till underhållsbehov. Det behövs effektiva metoder för tillståndsbedömning av berg och förstärkning efter exponering under längre tid och under olika yttre påverkan. Nedbrytningsprocesser och beständighet hos ”det bärande huvudsystemet” (berg med samverkande förstärkningar) samt injektering och tätning, behöver behärskas för att kunna bedöma underhålls- och reparationsbehov. Metoder för tillståndsbaserat underhåll av berganläggningar och effektiv informationshantering i samband med underhåll bör utredas och utvecklas. Det finns behov av reparations- och förstärkningsmetoder anpassade till begränsad tillgänglighet i utrymme eller tid, speciellt i trafiktunnlar. Specifika behov finns för statusbedömning av vattenfyllda tunnlar och undergrund vid dammar, vid skärningar och utloppskanaler med erosionsförlopp samt tillståndsbedömning och åtgärder för bergskärningar. Metoder för inspektion av anläggningar med drönare och andra fjärrstyrda farkoster bör utvecklas för att bland annat minimera arbetsmiljörisker. Erfarenhetsåterföring genom dokumentation från inträffade ras i tunnlar, i slänter och andra skadefall bör utnyttjas.

Här kan artificiell intelligens utnyttjas på olika sätt, om man utvecklar utrustning för tillståndsbedömning, till exempel bomknackning som idag är en förhållandevis subjektiv process.

9. Material – funktion och beständighet

Detta avsnitt avser materialprovning av etablerade material men även nya utifrån dess funktion och beständighet.

Flera av de material som används för bergförstärkning, tätning och inklädnad är väl beprövade och etablerade i anläggningsbyggandet. I vissa fall är dock egenskaperna mindre väl dokumenterade och specificerade till exempel i fråga om beständighet och brandtålighet. Nya material behöver jämföras med konventionella och specificeras utifrån funktionskrav. Kvalitetssäkring av installationer bör också utvecklas för traditionella samt nya material, förstärkningselement, injektering, tätning med mera.

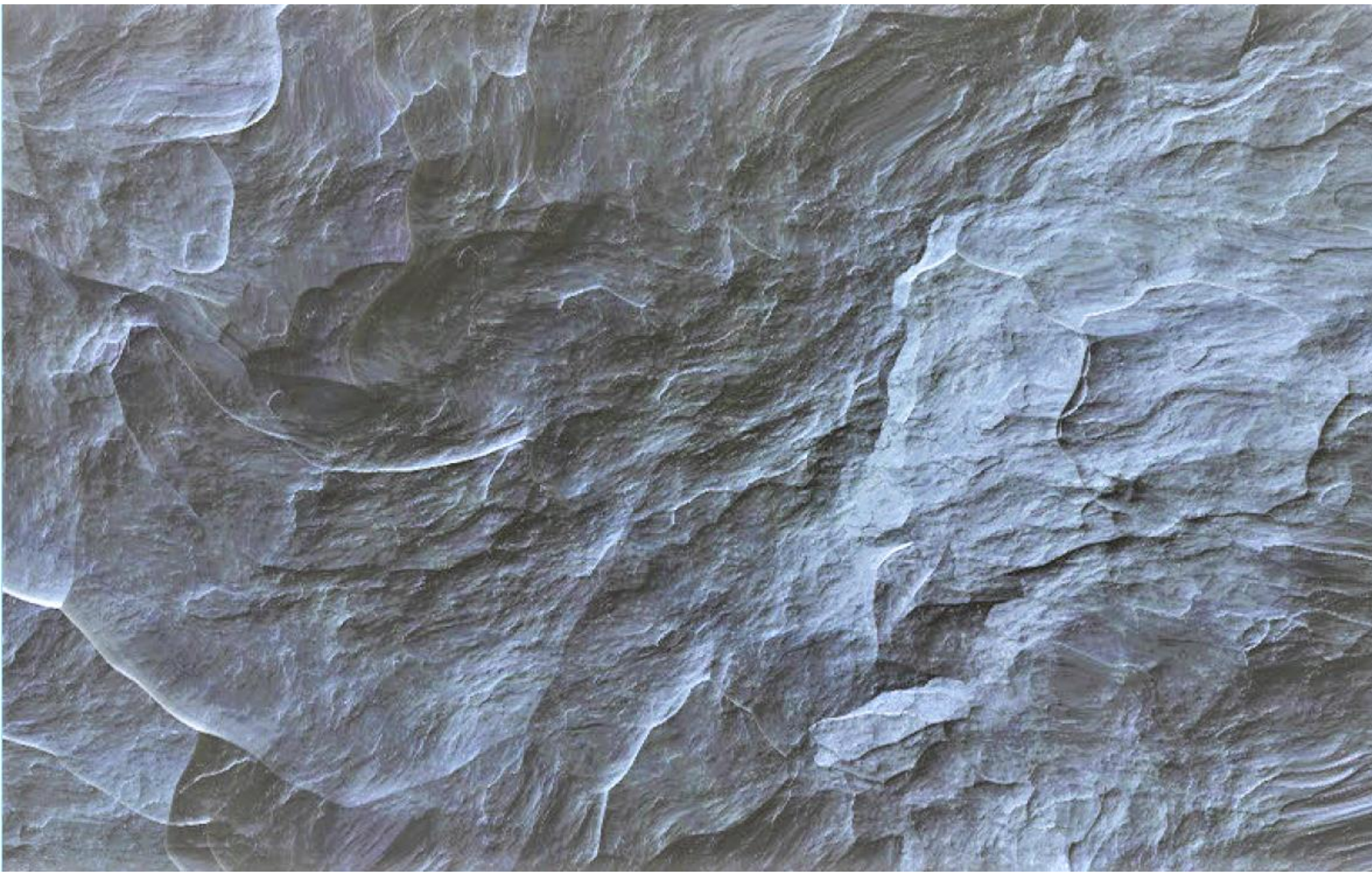
Materialvalet för berganläggningar görs traditionellt efter arbetsmiljö, funktion, beständighet och ekonomi. Ekologisk hållbarhet behöver bedömas för systemet, d. v. s. hela anläggningen där materialvalet och produkten som väljs ska fungera och bidra till en helhet som är hållbar.

Behov

Exempel på utvecklingsbehov; att klara funktionskrav på brandtålig vatten- och frostsäkring. Olika material och kombinationer behöver prövas i prototyp- respektive fullskala. Sprutbetong, ofta fiberarmerad, används frekvent för bergförstärkning. Ändå finns behov av mer kunskap om sprutbetongens egenskaper i olika avseenden för att ge ett bättre dimensioneringsunderlag, med hänsyn till bärförmåga och beständighet. Det kan avse deformationsegenskaper med olika typer av fiberarmering, möjlighet till töjningshårdnande, krympningsegenskaper, vattentäthet och urlakning, tålighet mot frost och brand, alternativa tillsatsmedel och ballast samt korrosion hos fiber- och nätarmering. Det kan vara intressant att undersöka användning av tunna sprutade membran som alternativ till sprutbetong. För bultförstärkning är det intressant att se på och prova nya material för bergförstärkning i olika former och tillämpningar. Materialbrott vid laster under brottlast och i utmattning etc. är av intresse att undersöka. Helt ingjutna bergbultar har genom åren varit en dominerande bultförstärkning, men vi har inte detaljerad kunskap om bultens verkningssätt, en kunskap som troligen kan reducera bultningsinsatserna. Beständighetsfrågor kring injektering kan avse ren berginjektering men också kontakt-injektering mellan berg och betong. Specifika problem gäller för urlakning av injekteringsskärmar med tiden, något som påverkar den annars så goda livslängden.

Delvis utdragen och ingjuten kolstålsbult efter åtta års exponering i Muskötunneln. Foto: Ur BeFo rapport nr. 193.

En fördel med berganläggningar under jord är att de ofta har en mycket lång livslängd, vilket är en miljömässig fördel som ska balanseras mot det klimatavtryck som användning av stål och betong medför. Behovet av materialutveckling med nya material som har såväl god beständighet som liten klimatpåverkan är stort och gäller bergbyggnadsbranschen men också hela samhällsbyggnadssektorn.



BeFo
STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
ROCK ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION

www.befoonline.org