

HUR SKA BERGBYGGANDE KUNNA INKLUDERAS I EUROKOD 7?

How to include rock engineering in Eurocode 7

Johan Spross, KTH Jord- och bergmekanik

Håkan Stille, KTH Jord- och bergmekanik

Fredrik Johansson, KTH Jord- och bergmekanik

Arild Palmstrøm, Rock Mass AS

Sammanfattning

I dagsläget har många länder, däribland Sverige, valt att inte tillämpa Eurokod 7 vid byggande i berg. Eurokod 7 är dock för närvarande under omarbetning, bland annat med syftet att bättre inkludera bergbyggande i dess tillämpningsområde. En sådan omarbetning kräver dock att koden anpassas till bergbyggandets egenheter, eftersom byggande i berg fundamentalt skiljer sig från byggande av de flesta andra typerna av konstruktioner. I denna presentation framför vi vår syn på hur en designkod för bergkonstruktioner behöver vara uppbyggd för att säkerställa att nya konstruktioner både blir tillräckligt säkra och kan byggas på ett kostnadseffektivt sätt. En viktig utgångspunkt är den beslutsteoretiska kopplingen mellan dimensionering och riskhantering som alltid bör genomsyra byggande i jord och berg. Presentationen bygger på resultatet av BeFo-projekt 395, som avslutades i januari 2019.

Summary

Sweden, among other countries, has chosen not to apply Eurocode 7 to rock engineering design. However, Eurocode 7 is currently under revision, with one purpose being to improve its applicability to rock engineering. Such a revision would however require that the code accommodates the current principles of rock engineering design and execution, since rock engineering in many cases fundamentally differs from other types of construction. In this presentation, we give our view on how a design code for rock engineering needs to be organized, in order to ensure that new rock engineering structures become both sufficiently safe and cost-effectively constructed. An important prerequisite is having a decision-theoretical connection between design and risk management that always should permeate geotechnical design and construction. The presented research is based on the results from a research project funded by the Rock Engineering Research Foundation (BeFo) that was finalized in January 2019.

Förord

Denna artikel är en förkortad version av den slutrapport som för närvarande är under utgivning hos BeFo för forskningsprojekt 395, ”Utredning av riskbaserade förhållningssätt till bergdimensionering med anledning av revideringen av Eurokod 7”. De fullständiga forskningsresultaten presenteras även i två tidskriftsartiklar av Spross et al. (2018, 2019a).

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En grundprincip vid dimensionering av bergkonstruktioner är att de utformas så att den under hela sin livslängd har förmåga att motstå de laster och påfrestningar som konstruktionen utsätts för, givet att de underhålls på ett tillfredsställande sätt. Likaledes finns normalt sett även miljökrav och ett antal praktiska begränsningar att ta hänsyn till. Utformningen ska därutöver också så långt som möjligt optimeras så att beställaren – ofta samhället genom någon beställande myndighet – får största möjliga nytta för pengarna. Bergmekanikern som utför denna dimensionering har alltså att beakta många olika tekniska och ekonomiska aspekter i sitt arbete med att utforma bästa möjliga undermarksanläggning givet förutsättningarna.

För att säkerställa att konstruktioner uppfyller samhälleliga krav på säkerhet och tillräckligt liten miljöpåverkan under hela konstruktionens livslängd, har man i de flesta utvecklade länder tagit fram standarder och normer som anger hur konstruktioner ska vara utformade. Sedan 2010 har vi dock EU-gemensamma regler i byggbranschen, Eurokoderna, som efter en lång och krokig resa under trettioalet år ersatte respektive medlemslands nationella regelverk. Tanken var att så skulle ske även inom bergbyggnad: Eurokod 7 (EN1997, CEN, 2004) anger tydligt att avsett tillämpningsområde innefattar geotekniska konstruktioner i både jord och berg. I Sverige insåg man dock tidigt att tillämpbarheten inom bergbyggnad var tämligen begränsad. Boverket fastställde därför i sina föreskrifter och allmänna råd att dessa inte är tillämpliga för tunnlar och bergrum. I stället gäller Plan- och byggförordningens tredje kapitel, som inte alls ger några detaljerade krav. En uppsättning riktlinjer har därför utvecklats av Trafikverket för dimensionering av (främst) stora trafikinfrastrukturprojekt och samlats i en projekteringshandbok (Lindfors et al. 2015).

På europeisk nivå har man insett att situationen inte är tillfredsställande för dimensionering av konstruktioner i och på berg. I samband med initieringen av det första revideringsarbetet uttrycktes det därför en önskan om att dimensionering av bergkonstruktioner ska täckas fullt ut av Eurokod 7. En särskild utredningsgrupp, Evolution Group EG13, tillsattes därför under Teknisk Kommitté 250:s sjunde underkommitté inom Europeiska Kommittén för Standardisering. EG13 hade i uppdrag att tillse att frågor rörande bergbyggnad beaktades inom revideringsarbetet.

1.2 Syfte med forskningsprojektet

För att vetenskapligt stödja revideringsarbetet med Eurokod 7 initierades hos BeFo forskningsprojektet "Utredning av riskbaserade förhållningssätt till bergdimensionering med anledning av revideringen av Eurokod 7". Projektet har syftat till att belysa vikten av att ha ett riskbaserat synsätt vid dimensionering av konstruktioner i och på berg. Detta har främst skett genom publicering av två tidskriftsartiklar i välrenommerad vetenskaplig tidskrift, eftersom diskussion av generella dimensioneringsprinciper inom bergbyggnad i princip helt saknas i internationell vetenskaplig press. Utan vetenskaplig grund att stå på, är det svårt att motivera det ena synsättet framför ett annat i revideringsarbetet, vilket kan leda till att framtidens dimensioneringsstandarder inte baseras på bästa möjliga vetenskapliga grund.

För att säkerställa att bergbyggande sker på ett resurseffektivt sätt, samtidigt som eventuell miljöpåverkan blir acceptabelt liten, är det, som vi ser det, väsentligt att den reviderade Eurokod 7 är uppbyggd enligt riskbaserade principer. Vi har som en del av forskningsprojektet verkat för att införa framtagna riskbaserade principer genom att ge kommentarer på de utkast på nya klausuler, som tagits fram i det pågående revideringsarbetet för Eurokod 7, samt diskuterat detta inom TG3. I denna artikel tillhörande vår presentation på Bergdagarna redovisar vi de viktigaste insikterna som forskningsprojektet har genererat inom riskbaserad dimensionering.

2 Riskbaserad dimensionering

2.1 Geologiska och geotekniska osäkerheter

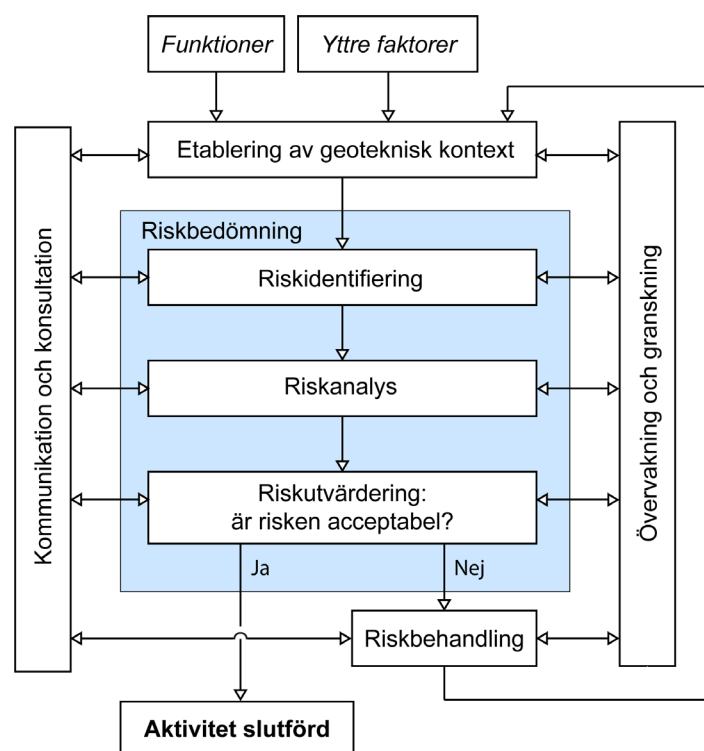
Dimensionering av konstruktioner i berg skiljer sig på en viktig punkt från dimensionering av konstruktioner som byggs helt av tillverkade byggmaterial såsom stål och betong. Denna skillnad består i att de geologiska förhållandena och de geotekniska egenskaperna hos bergmassan till stora delar är okända i början av dimensioneringsarbetet, jämfört med stål och betong som kan beställas från en tillverkare med de egenskaper som önskas. Bergmekanikern har dock inte den möjligheten. Inför liknande svårigheter står även geoteknikern som dimensionerar konstruktioner i jord, men med skillnaden att geoteknikern ofta har större möjlighet än bergmekanikern att undersöka förhållandena i marken i början av dimensioneringsarbetet, eftersom jorden normalt sett är relativt enkelt tillgänglig för undersökning från markytan.

Denna geologiska och geotekniska osäkerhet avseende de verkliga förhållandena i marken brukar man kategorisera som epistemisk osäkerhet, det vill säga att osäkerheten beror på brist på kunskap, vilken man dock har möjlighet att öka exempelvis genom att utföra undersökningar (till skillnad från aleatorisk osäkerhet som avser ett helt slumpmässigt beteende där ytterligare undersökningar inte minskar osäkerheten). Det är denna epistemiska osäkerhet som bergmekanikern har att hantera i dimensioneringsarbetet, som på ett övergripande plan syftar till att ge konstruktionen tillräcklig säkerhetsmarginal med avseende på dessa osäkerheter, för att de krav som beställaren ställt på konstruktionen ska uppfyllas (med tillräckligt stor sannolikhet).

2.2 Dimensionering är riskhantering

Som vi ser det, innebär dimensioneringsarbete beslutsfattande i ett osäkert läge, det vill säga att beslut ska fattas om lämplig utformning på konstruktionen, trots att bergmassans geologiska förhållanden och tekniska egenskaper inte är helt kända. Därmed faller dimensioneringsarbete inom ramen för byggprojektets riskhanteringsarbete, som syftar till att begränsa de risker som kan hänföras till byggprojektet och som kan få oönskade konsekvenser av något slag, ifall de faller ut. För att förstå vad dimensionering egentligen innebär behöver man alltså förstå de grundläggande principerna för riskhantering.

Risk kan enligt ISO 31000 (2009), som är en generell standard för riskhantering, definieras som osäkerhetens effekt på mål. Sett ur bergbyggnadens perspektiv handlar det alltså i princip om hur mycket de geologiska och geotekniska osäkerheterna påverkar möjligheten att uppnå det övergripande målet att färdigställa en undermarksanläggning, som uppfyller beställarens alla krav och samtidigt håller budget och tidplan. Annorlunda uttryckt kan man säga att de geologiska och geotekniska osäkerheterna gör att det finns en viss sannolikhet att det inträffar en oönskad konsekvens (att målet inte uppnås). Dimensioneringsarbetet ska därför ses som ett sätt att hantera denna risk genom att man under arbetets gång kontinuerligt identifierar, analyserar och utvärderar de hot och möjliga konsekvenser som kan göra att målet inte uppnås, och att man i förekommande fall på olika sätt minskar risken, om den bedöms vara för stor (Figur 1).



Figur 1. Den cykliska riskhanteringsprocessen enligt ISO 31000. (© Spross et al. 2019b, med tillstånd).
Figure 1. The cyclic risk management process according to ISO 31000.

Principer för hur detta låter sig göras i byggprojekt redogörs för bland annat i metodbeskrivningen utgiven av SGF (2017), artikeln av Spross et al. (2018), samt det praktiska tillämpningsexemplet som presenterats av Spross et al. (2015).

2.3 Etablera kontext – att förstå det tekniska systemet

Då dimensioneringsarbetet inbegriper många olika dimensioneringsfrågor med olika svårigheter som medför risker, är det viktigt att arbeta med dessa frågor på ett strukturerat sätt. För att lyckas med detta krävs det att man först skaffar sig en god förståelse av hur målen, de yttre faktorerna och de geologiska och geotekniska förutsättningarna samverkar med de olika potentiella tekniska lösningarna som man överväger i dimensioneringsarbetet. Detta motsvarar etableringen av kontexten i Figur 1.

2.4 Riskidentifiering – vilka är de relevanta dimensioneringsfrågorna?

När man har denna förståelse är det första steget att identifiera vilka detaljerade dimensioneringsfrågor som behöver beaktas för de analyserade tekniska lösningarna. Varje dimensioneringsfråga har en direkt koppling till de ställda kraven. Detta motsvarar riskidentifieringen i Figur 1. I praktiken kan dessa frågor delas in i fem kategorier:

- Tillfredsställande säkerhet mot brott i konstruktionen i relation till samhällets krav,
- Tillfredsställande beständighet i relation till Beställarens krav på konstruktionens livslängd och förväntat underhållsbehov,
- Tillfredsställande brukbarhet i relation till Beställarens krav och förväntningar,
- Acceptabel miljöpåverkan i relation till samhällets minimikrav (eller Beställarens högre ställda krav i förekommande fall),
- Acceptabel arbetsmiljö i relation till arbetsmiljölagar (eller Beställarens högre ställda krav i förekommande fall).

Eftersom de geologiska och geotekniska osäkerheterna normalt utgör de största utmaningarna i dimensioneringsarbetet, utgör bedömningar av förväntat geologiskt scenario (bergmekaniskt beteende) bergmekanikerns kanske viktigaste uppgift. Notera att de dimensioneringsfrågeställningar som bergmekanikern ställs inför behöver beaktas utifrån både förhållandena för den permanenta konstruktionen och den temporära situationen precis vid berguttaget.

2.5 Riskanalys – hur stora är rådande osäkerheter och potentiella konsekvenser?

För varje dimensioneringsfråga behöver man identifiera vilka osäkerheter som kan påverka sannolikheten att vi uppnår de satta kraven avseende den analyserade frågeställningen. Dessa osäkerheter behöver sedan kvantifieras, eller åtminstone klassificeras med avseende på deras storlek. Därutöver behöver man också bedöma storleken på konsekvensen som uppstår i fall man inte uppnår kraven. Utifrån en given konstruktionslösning kan man alltså analysera hur olika tekniska åtgärder och val av dimension-

erings- och konstruktionsmetoder påverkar storleken på både rådande osäkerheter och konsekvenser. Detta motsvarar riskanalysen i Figur 1. I praktiken tar man hänsyn till en mängd olika typer av osäkerheter, där bristen på kunskap om de faktiska geologiska och geotekniska förhållandena i berget är den största.

2.6 Riskutvärdering – är föreslagen teknisk lösning acceptabel?

För att kunna avgöra om en viss konstruktionslösning eller annan åtgärd är lämplig att genomföra, behövs också tydliga kriterier för vilka risker som man är beredd att ta. Somliga kriterier fastställs av samhället i designkoder, exempelvis acceptabel brott-sannolikhet för olika storlekar på konsekvenser, medan andra kriterier behöver fastställas av den som äger den aktuella risken (d.v.s. den som får stå för kostnaden i fall den inträffar). Denna utvärdering av huruvida en viss föreslagen konstruktionslösning är lämplig eller ej motsvarar riskutvärderingen i Figur 1. Principen är att man beroende av att storleken på osäkerheten och storleken på konsekvensen behöver olika mycket säkerhetsmarginal. Rent konkret blir därmed syftet med dimensioneringsarbetet att hitta en konstruktionslösning som ger rätt säkerhetsmarginal för var och en av de relevanta dimensioneringsfrågorna.

2.7 Riskbehandling – åtgärder för att minska risken vid behov

Om risken med den analyserade konstruktionslösningen bedöms vara för stor, beslutar man om att utföra riskbehandling (Figur 1), det vill säga att genomföra någon åtgärd för att minska risken. Man kan då i princip välja bland följande åtgärder:

- Ändra den tekniska lösningen
- Välja en annan verifieringsmetod för gränstillståndet
- Göra ytterligare geotekniska undersökningar
- Införa kontroll och granskning av dimensioneringsarbetet och under byggtiden

2.8 Geoteknisk kategori som praktiskt verktyg att klassificera risk

Ett sätt att ge konstruktioner tillräcklig säkerhetsmarginal i dimensioneringsarbetet är att klassificera storleken på risken och koppla säkerhetskrav till respektive klass. Användning av sådana klasser syftar till att öka transparensen i dimensioneringsarbetet avseende de beslut som fattas för att minska risken. Vi föreslår att sådan klassificering görs genom att för varje dimensioneringsfråga ansätta en osäkerhetsklass (motsvarande har diskuterats i det pågående revisionsarbetet av Eurokod 7 och har då benämnts *Geotechnical Complexity Class*) och en konsekvensklass, baserat på den tillgängliga kunskap som man har för tillfället, och väga samman detta till en klassificering som anger den rådande risken. Ett vedertaget begrepp i Eurokod 7 som kan användas till denna riskklass är Geoteknisk kategori, som därmed skulle få en riskbaserad definition, vilket den inte har idag.

2.9 Vad ska en designkod reglera?

Eftersom omfattande förundersökningar av de geologiska förhållandena och geotekniska egenskaperna i berget ofta inte låter sig göras av ekonomiska eller praktiska skäl, har man i stället i stor utsträckning använt den så kallade observationsmetoden för att därigenom kunna minska osäkerheterna under byggtiden. I Eurokod 7 anges också observationsmetoden som en tillåten metod för att verifiera gränstillstånd (d.v.s. visa att tillräcklig säkerhetsmarginal har uppnåtts för respektive dimensioneringsfråga).

Ur ett principiellt perspektiv är det, som vi ser det, väsentligt att samtliga metoder som är tillåtna för att verifiera gränstillstånd i en standard behandlas på ett likvärdigt sätt. Bergmekanikern ska själv kunna avgöra utifrån det egna projektets unika förutsättningar vilken verifieringsmetod som är mest lämpad för att ge beställaren bästa möjliga kvalitet och kostnadseffektivitet i byggprojektet. Detta ställer särskilda krav på hur standarden utformas, eftersom den mest kostnadseffektiva mängden förundersökningar kommer att vara beroende av vilken verifieringsmetod som används: om observationsmetoden används, så att man kan minska osäkerheterna om geologin och de geotekniska egenskaperna under byggtiden, kan man sannolikt förvänta sig att man behöver mindre mängd i tidiga skeden än annars.

3 Generellt ramverk för dimensionering av konstruktioner i berg

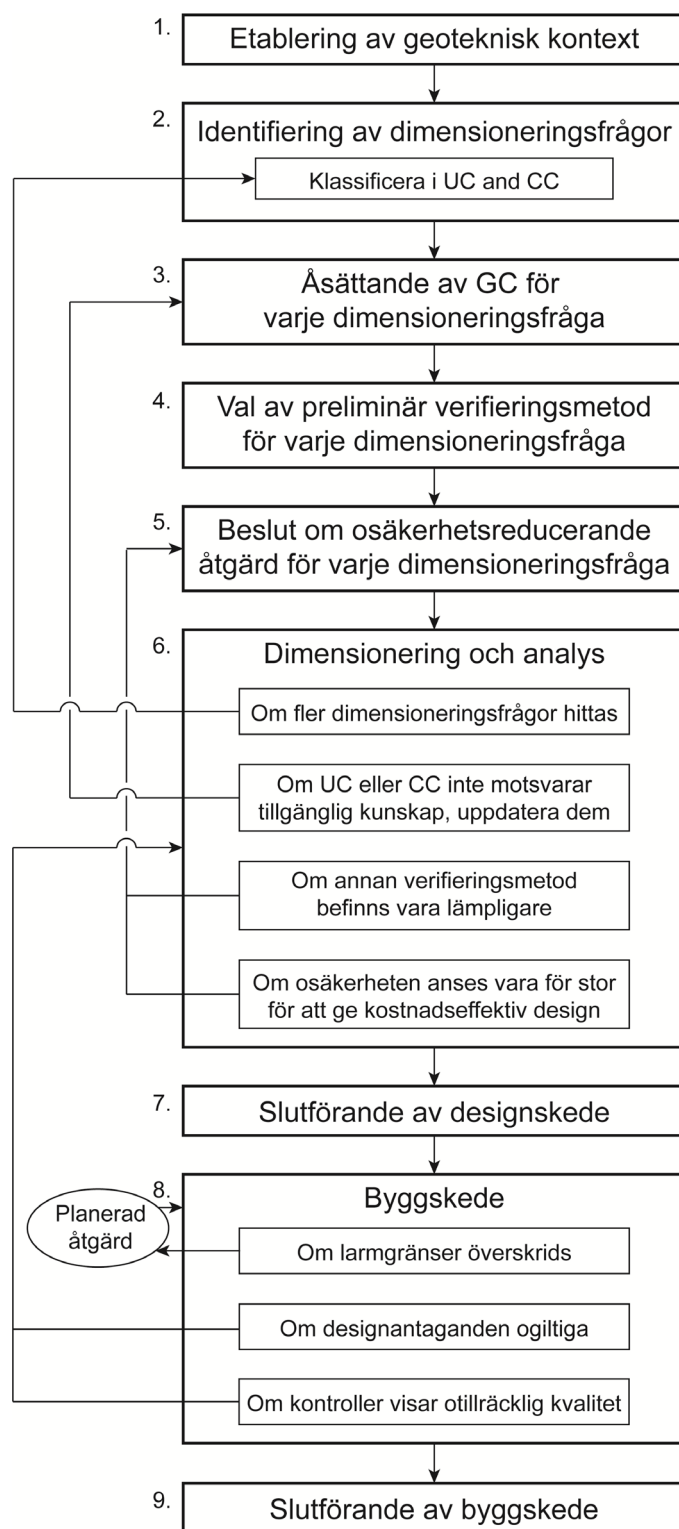
3.1 Översikt över ramverket

Vi har analyserat dimensioneringsprocessen inom bergbyggande ur ett riskperspektiv. Baserat på denna analys har vi formulerat ett generellt ramverk för hur dimensionering bör utföras, för att uppnå målet att färdiga konstruktioner kostnadseffektivt ska uppfylla ett krav just på en acceptabel risk. Ramverket visar på behovet av att hantera osäkerheten, konsekvenserna och därmed risken på ett stringent sätt i dimensioneringsarbetet. Ramverket kan beskrivas som en algoritm (Figur 2) och är giltigt för dimensionering av både temporär och permanent konstruktion.

3.2 Viktiga principer för riskbaserad dimensionering

Till skillnad från Eurokoderna anser vi att dimensioneringsfrågorna ska ligga i fokus för dimensioneringsarbetet, inte de olika konstruktionsdelarna. Det innebär exempelvis att samma konstruktionsdel enligt vårt synsätt bör kunna få olika geoteknisk kategori för olika dimensioneringsfrågor. Därmed kan man hantera frågeställningar med liten risk på ett enkelt sätt, medan komplexa frågeställningar kan hanteras i enlighet med den omfattning på åtgärder som den identifierade höga risken kräver, trots att båda frågeställningarna avser samma konstruktionsdel. Det ska jämföras med dagens Eurokod, där man sätter konstruktionsdelens konsekvensklass baserat på den största konsekvensen hos de analyserade dimensioneringsfrågorna.

Eftersom geotekniska undersökningar och andra osäkerhetsreducerande åtgärder spelar stor roll inom bergbyggande, är det viktigt att dessa utförs just i den omfattning som är



Figur 1. Generellt ramverk för riskbaserad dimensionering av bergkonstruktioner. De numrerade stegen diskuteras i detalj i Spross et al. (2019a). (© Spross et al. 2019b).

Figure 2. Generic framework for risk-based rock engineering design.

befogat utifrån den bedömda risken. Vi menar att frågan om undersökningarnas omfattning ska hanteras av den som utför dimensioneringen som det beslutsteoretiska problem som det är – d.v.s. är potentiell kunskap värd kostnaden för undersökningen? Det beror på att den optimala mängden undersökningar beror både på respektive projekts egenheter och på vald verifieringsmetod för gränstillståndet. Det innebär att om en designkod skulle upprätta specifika krav på miniminivå av undersökningar baserat på den aktuella risken, så kan det lätt uppträda situationer när undersökningar framtvings av koden trots att de potentiella undersökningsresultaten sannolikt inte påverkar den aktuella risken. Det gäller särskilt när observationsmetoden används för att verifiera gränstillstånd. Eftersom observationsmetoden bygger på att mätningar och observationer utförs för att minska osäkerheterna under byggtiden, så blir det olyckligt ifall designkoden skulle framtvunga undersökningar i designskedet för att minska samma osäkerhet. Vårt föreslagna ramverk behandlar därför de olika verifieringsmetoderna för gränstillstånd på ett likvärdigt sätt. Bergmekanikern kan därmed välja den verifieringsmetod som bäst passar det aktuella fallet – till skillnad från Eurokoderna som tydligt favoriserar partialkoefficientmetoden.

3.3 Möjligheter till implementering i designkoder

Vi ser goda möjligheter att formulera en designkod baserat på det presenterade ramverket i Figur 2. Det bygger dock på att kodförfattarna endast reglerar de övergripande principerna och överläter åt den dimensionerande ingenjören att bestämma hur riskerna bäst hanteras i det egna projektet. Notera att detta också lägger ansvar på den som fattar beslut om designen: att ignorera uppenbara risker – exempelvis genom att fatta sådana beslut baserat på extremt få undersökningar – måste anses vara grov oaktsamhet, såvida man inte lagt på mycket stora säkerhetsmarginaler förstås. Här finns dock naturligtvis möjligheter för kodförfattare att bistå den enskilda beslutsfattaren genom att bilägga designkoden med förklarande bakgrundsdokument och ta fram handböcker med rekommendationer.

4 Slutord

I detta forskningsprojekt har vi utrett möjligheterna att införa riskbaserade förhållningsätt till dimensionering av bergkonstruktioner i designkoder. Vi har i detta arbete tagit fram ett generellt riskbaserat ramverk för dimensionering av bergkonstruktioner. Ramverket är uppbyggt så att dimensioneringsprocessen ger konstruktioner som kostnadseffektivt uppfyller kravet på acceptabel risk. Detta krav på acceptabel risk avser såväl säkerhet mot brott i konstruktionen som konstruktionens beständighet, brukbarhet och eventuell miljöpåverkan.

Vi hoppas att vi med vår presentation på Bergdagarna kan uppmuntra till en fortsatt diskussion av dimensioneringsprinciper i Sverige. Vi tror att användandet av ett stringent riskbaserat synsätt vid dimensionering av tunnlar och bergrum gör arbetet mer transparent och att det går lättare att integrera det i det allmänna hanterande av risker i dessa typer av projekt.

5 Referenser

- CEN 2004. EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. Brussels: European Committee for Standardisation.
- ISO 2009. ISO 31000: risk management – principles and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.
- Lindfors, U., Swindell, R., Rosengren, L., Holmberg, M. & Sjöberg, J. 2015. Projektering av bergkonstruktioner. Stockholm: Trafikverket.
- Palmström, A. & Stille, H. 2007. Ground behaviour and rock engineering tools for underground excavations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22(4), 363-376.
- Palmström, A. & Stille, H. 2015. *Rock engineering*. London: Thomas Telford.
- SGF 2017. Risk management in geotechnical engineering projects – requirements: Methodology. Report 1:2014E (2nd Ed.). Linköping: Swedish Geotechnical Society.
- Spross, J., Olsson, L., Hintze, S. & Stille, H. 2015. Hantering av geotekniska risker i byggprojekt: ett praktiskt tillämpningsexempel [Management of geotechnical risks in construction projects: a practical example]. Report 13009. Stockholm: SBUF.
- Spross, J., Olsson, L. & Stille, H. 2018. The Swedish Geotechnical Society's methodology for risk management: a tool for engineers in their everyday work. *Georisk*, 12(3), 183-189.
- Spross, J., Stille, H., Johansson, F. & Palmström, A. 2018. On the need for a risk-based framework in Eurocode 7 to facilitate design of underground openings in rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51(8), 2427-2431.
- Spross, J., Stille, H., Johansson, F. & Palmström, A. 2019a. Principles of risk-based rock engineering design. Under review in a scientific journal.
- Spross, J., Stille, H., Johansson, F. & Palmström, A. 2019b. Utredning av riskbaserade principer inom bergdimensionering: Så bör en standard vara uppbyggd. BeFo-rapport (under utgivning).
- Stille, H. & Palmström, A. 2018. Practical use of the concept of geotechnical categories in rock engineering. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 79(9), 1-11.