

BeFo



STIFTELSEN BERGTEKNISK FORSKNING
ROCK ENGINEERING RESEARCH FOUNDATION

HANTERING AV EKONOMISKA RISKER I UNDERMARKSPROJEKT:

Geotekniska bedömningsgrunder för riskdelning – förstudie

Johan Spross

Håkan Stille

HANTERING AV EKONOMISKA RISKER I UNDERMARKSPROJEKT: Geotekniska bedömningsgrunder för riskdelning - förstudie

**Management of economic risks in
underground excavation: Geotechnical
baselines for risk sharing – pre-study**

Johan Spross, KTH

Håkan Stille, KTH

FÖRORD

Denna förstudie om hantering av ekonomiska risker i undermarksprojekt har utförts på Avdelningen för Jord- och bergmekanik, KTH, som en separat seniorforskarstudie inom projektet ”Förbättrat beslutsfattande för ett hållbart och kostnadseffektivt undermarksbyggande”. Arbetet med förstudien har pågått under 2021–2022 och finansierats av BeFo.

Beskrivningen av de ingenjörsgelogiska förhållandena (geologiska så väl som geotekniska) är av största betydelse för utfallet av ett projekt, detta avser så väl det tekniska som det ekonomiska utfallet. Införande av geotekniska bedömningsgrunder (eller på engelska Geotechnical Baseline Report, GBR) innebär en möjlighet att till delar standardisera hur sådana beskrivningar skall hanteras. Denna förstudie har sin grund i svensk forskning om riskhantering och utländska erfarenheter av att använda GBR. Förstudien skapar förutsättningar för och sätter ramarna för fortsatta arbeten med att optimera beskrivningen av de geotekniska bedömningsgrunderna för svenska förhållanden.

Arbetet med förstudien har stöttats av en referensgrupp, som författarna och BeFo riktar ett särskilt tack till. Följande personer medverkade i referensgruppen: Miriam Zetterlund, Tyréns; Gösta Ericson; Stig Eriksson; Robert Sturk, Skanska; Johan Brantmark, Trafikverket; Peter Lundman, AFRY; Anna Kadefors, Fredrik Johansson och Stefan Larsson, KTH; samt Per Tengborg och Patrik Vidstrand, BeFo.

Stockholm 2022

Patrik Vidstrand

PREFACE

This pre-study on management of economic risk in underground excavation was carried out at the Division of Soil and Rock Mechanics, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. The study was part of the research project "Improved decision-making for sustainable and cost-efficient underground construction". The work was conducted during 2021–2022 and funded by the Rock Engineering Research Foundation (BeFo).

The description of engineering geological conditions (geological as well as geotechnical) is of the greatest importance for the outcome of a project, this refers to the technical as well as the economic outcome. The introduction of a Geotechnical Baseline Report, GBR, provides an opportunity to partly standardize how such descriptions are to be handled. This pre-study, which draws on many years of research in Sweden and experiences of assessing GBR abroad, sets the framework for further work on optimizing the description of the geotechnical assessment bases in Swedish conditions.

The pre-study was supported by a reference group. The authors and BeFo are thankful for their contribution. The reference group consisted of Miriam Zetterlund, Tyréns; Gösta Ericson; Stig Eriksson; Robert Sturk, Skanska; Johan Brantmark, Trafikverket; Peter Lundman, AFRY; Anna Kadefors, Fredrik Johansson och Stefan Larsson, KTH; samt Per Tengborg och Patrik Vidstrand, BeFo.

Stockholm 2022

Patrik Vidstrand

SAMMANFATTNING

Att bygga undermarksanläggningar är ofta tekniskt komplicerat, samtidigt som dessa byggprojekt kännetecknas av stora geologiska och geotekniska risker. Riskerna har sitt ursprung i att det för bergbyggande är svårt att i förväg fastställa vilka tekniska egenskaper som berget har. Men detta ger inte bara tekniska utmaningar utan även juridiska och ekonomiska: vem ska stå för den ekonomiska risken om kostnaderna blir högre än väntat? Denna fråga regleras i kontraktet mellan beställare och entreprenör. Om kontraktet visar sig vara otydligt beskrivet när kostnader väl ska regleras, hamnar man ofta i en juridisk tvist. Ett relaterat problem är hur riskerna presenteras i förfrågningsunderlaget. Om detta är otydligt avseende riskerna försvårar det för entreprenadbolagen att göra sin kalkyl och komma fram till en rimlig prissättning.

Internationellt finns ett kontraktsskildokument som kallas Geotechnical Baseline Report (rapport för geotekniska bedömningsgrunder) och som tagits fram för att tydliggöra parternas ansvar för geologiska och geotekniska risker i geotekniska byggprojekt. Syftet med denna förstudierapport är att introducera principerna för hur detta kontraktsskildokument kan förstås, tolkas och tillämpas i upphandling och utförande av svenska undermarksprojekt. Rapporten är tänkt att utgöra en teoretisk grund för fortsatt forskning och utveckling kring dessa frågor i Sverige.

Rapporten ger dels en överblick över hur valet av affärsform (entreprenadform och kontraktstyp och dyl.) kan förstås ur ett riskperspektiv, dels en teoretisk analys av begreppet geoteknisk bedömningsgrund och hur det fungerar som ett verktyg för riskdelning mellan byggprojektets parter. Ett praktiskt tillämpningsexempel presenteras och diskuteras också. Rapporten avslutas med en diskussion av det fortsatta forsknings- och utvecklingsbehovet som kvarstår innan geotekniska bedömningsgrunder kan börja användas i praktiken i Sverige.

Nyckelord: Geoteknisk bedömningsgrund; Ekonomisk risk; Kontrakt; Tunnel; Entreprenadform

SUMMARY

Constructing underground structures is often technically challenging and characterised by large geological and geotechnical risk. These risks originate from the fact that it is difficult to predict the properties of the rock mass before the construction has started. But this does not only give technical challenges, but also economic and legal: who shall own the economic risk if the final cost is larger than expected? This issue is regulated in the contract between the client and the contractor. If the contract is vague, claims and disputes often arise. A related issue concerns how risks are presented to the bidders in the tender documents. If the tender documents are vague regarding the risks, it becomes more difficult for the bidders to come up with a reasonable bid amount.

Internationally, there exist a contractual document called Geotechnical Baseline Report (GBR), which was created to clarify the contractual parties' ownership of geological and geotechnical risks in geotechnical engineering projects. The purpose of this prestudy report is to introduce the principles of how this contractual document can be understood, interpreted and applied in procurement and execution of Swedish underground excavation projects. The report is intended to be a theoretical basis for future research and development in this field.

The report first gives an overview of how the client's considerations of different contract types can be understood from a risk perspective, which is followed by a theoretical analysis of geotechnical baselines as a concept as well as how these baselines can serve as a tool for risk sharing between the project parties. An application example is also presented and discussed. The report ends with a discussion of the research and development need that remains before geotechnical baselines can be used in the Swedish practice.

Keywords: Geotechnical baseline report; Economic Risk; Contract; Tunnel

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	1
1.1	Problemställning.....	1
1.2	Syfte och omfattning.....	2
1.3	Några klargöranden om författarnas perspektiv	2
1.4	Översikt över rapportens innehåll.....	3
2	ETT RISKPERSPEKTIV PÅ UPPHANDLING AV UNDERMARKSPROJEKT	5
2.1	Begreppen risk och riskägare.....	5
2.2	Översikt av stegen i riskhanteringsarbetet	5
2.3	Ekonomiska och tekniska risker i undermarksprojekt.....	7
2.4	Valet av affärsform	8
2.4.1	Terminologi	8
2.4.2	Upphandlingsform.....	9
2.4.3	Entreprenadform.....	9
2.4.4	Ersättningsform.....	10
2.4.5	Samverkan och samverkansentreprenader	11
2.5	Etablering av riskhanteringen i valet av entreprenadform och ersättningsform	11
2.6	Systemförståelse av geotekniska och kontraktuella sammanhang	12
2.6.1	Funktioner och bakomliggande faktorer.....	12
2.6.2	Geoteknisk osäkerhet: En fråga om kunskap	13
2.6.3	Kontraktuella gråzonsrisker	14
2.6.4	Tolkningen av det geotekniska sammanhanget.....	14
2.6.5	Systemet geoteknik-kontrakt.....	14
2.7	Riskbedömning av entreprenad- och ersättningsform.....	15
2.8	Riskhanteringsåtgärder vid val av entreprenad- och ersättningsform .	15

2.9	Frågan om vem som ska äga den ekonomiska risken	16
2.9.1	Riskdelning i olika entreprenadformer	16
2.9.2	Riskdelning i utförandeentreprenader med mängdkontrakt	18
2.9.3	Riskdelning i samverkansentreprenader på löpande räkning	19
2.9.4	Riskdelning i totalentreprenader med fast pris.....	19
2.9.5	Hur definieras kontraktets yttre ramar?.....	20
3	GEOTEKNISKA BEDÖMNINGSGRUNDER – TEORETISKA PRINCIPER	23
3.1	Bakgrund.....	23
3.2	Varför ha geotekniska bedömningsgrunder?.....	23
3.3	Teoretiska principer för geotekniska bedömningsgrunder.....	24
3.3.1	Aleatorisk och epistemisk osäkerhet.....	24
3.3.2	Vad påverkar storleken på den epistemiska osäkerheten?	25
3.3.3	Effekten av geoteknisk osäkerhet på utformning och utförande ...	25
3.4	Vad är en geoteknisk bedömningsgrund?.....	26
3.5	När kan geotekniska bedömningsgrunder användas?	29
3.6	Beställarens val av bedömningsgrund.....	29
3.6.1	Valet av parameter	29
3.6.2	Skattningen av möjliga värden och sannolikhetsfördelning	30
3.6.3	Valet av gränsvärde.....	32
3.6.4	Presentation av bedömningsgrunden i förfrågningsunderlag.....	34
3.7	Anbudsgivarens tolkning av bedömningsgrunden.....	35
3.8	Riskmedveten arbetsgång för hantering av ekonomiska risker	36
3.8.1	Beställarens val av parametrar utifrån kontraktuellt sammanhang	36
3.8.2	Identifiering av risker kopplade till bedömningsgrunderna	37
3.8.3	Analys av identifierade risker.....	37
3.8.4	Riskvärdering och riskhanteringsåtgärd.....	38

4	TILLÄMPNING I ETT PRAKTISKT FALL	39
4.1	Introduktion	39
4.2	Beräkningsexempel.....	39
4.2.1	Förutsättningar.....	39
4.2.2	Valet av parameter till geoteknisk bedömningsgrund	39
4.2.3	Möjliga värden och val av fördelningstyp	40
4.2.4	Beställarens val av gränsvärde.....	43
4.2.5	Entreprenörens överväganden i framtagande av anbud.....	44
4.3	Diskussion.....	45
4.3.1	Oförutsedda händelser	45
4.3.2	Något om totalentreprenader.....	46
5	SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE.....	47
6	REFERENSER.....	51

1 INLEDNING

1.1 Problemställning

Byggande av undermarksanläggningar såsom tunnlar och berggrum utförs normalt i formen av ett byggprojekt, där en beställare upphandlar en eller flera entreprenadbolag att utföra anläggningsarbetet. Dessa byggprojekt är ofta tekniskt komplicerade, samtidigt som de kännetecknas av stora geologiska och geotekniska risker. Riskerna har sitt ursprung i att det för undermarksbyggande är svårt att i förväg fastställa vilka tekniska egenskaper som berget har. Detta kräver flexibilitet i utförandemetoder, så att man kan anpassa konstruktionen efter de faktiska förhållandena i berget och säkerställa att den färdiga konstruktionen uppfyller alla ställda kvalitetskrav. Inte sällan har osäkerheten om de geologiska och geotekniska förhållandena även ekonomiska konsekvenser, eftersom berget ibland kan visa sig vara betydligt svårare och dyrare att bygga i än man förutsett. Det ger då upphov till förseningar och fördyringar. Hur osäkerheterna om geologin påverkar prognosen för byggtiden och projektkostnaden har studerats av bland annat Lundman (2011) och Mohammadi (2021).

Hur detta samband faktiskt ser ut är dock ett sällan studerat område i forskningslitteraturen och metoderna som används för att skatta denna osäkerhet är inte särskilt välutvecklade, vilket även Riksrevisionen (2021) noterar i en rapport som granskar huruvida Trafikverkets kostnadskalkyler utgör tillförlitliga beslutsunderlag. Inom detta område finns dock även en viktig juridisk fråga: vem ska stå för kostnadsökningen, om markförhållandena gör att konstruktionen blir oväntat svårbyggd eller extra dyr? Det vill säga, vems är den ekonomiska risken?

Svaret på denna fråga ska framgå i kontraktet mellan beställare och entreprenör. Kontraktet behöver alltså tydliggöra under vilka markförhållanden som avtalat pris ska gälla, i relation till när entreprenören har rätt till kompensation för kostnadsökningar. Om detta visar sig vara otydligt beskrivet när kostnader väl ska regleras, hamnar man allt som oftast i en juridisk tvist, vilket i sig medför ytterligare kostnader och därtill ett sämre arbetsklimat i projektet.

Ett relaterat problem är hur otydliga förfrågningsunderlag påverkar upphandlingen, där beställaren väljer den för projektet bästa entreprenören. Om förfrågningsunderlaget är otydligt avseende vad beställaren anser ingår i kontraktet, är det svårt för anbudsgivarna att göra sin kalkyl och komma fram till en rimlig prissättning. Detta är ett problem inte bara för entreprenadbolagen, som får svårt att bedöma det egna risktagandet i anbudet, utan även för beställaren i utvärderingen av anbudet, eftersom det lägsta priset kan vara

sprunget ur en rejäl felbedömning snarare än att avspegla hög effektivitet och produktivitet.

1.2 Syfte och omfattning

Frågan är då hur förfrågningsunderlag och kontrakt ska utformas i undermarksprojekt, så att prissättningen vid upphandling underlättas och juridiska tvister kan undvikas? Ett sätt som börjat få spridning internationellt är kontraktsdokumentet som på engelska kallas Geotechnical Baseline Report, vilket vi på svenska valt att kalla Rapport för geotekniska bedömningsgrunder. Dokumentet är dock fortfarande ovanligt i Sverige, men vi – författarna – bedömer att dess principer har potential dels att underlätta kostnadsuppskattningen under projekteringen, dels minska sannolikheten för tvister i svenskt undermarksbyggande. Syftet med denna rapport är därför att introducera principerna för hur detta kontraktsdokument kan förstås, tolkas och tillämpas i upphandling och utförande av svenska undermarksprojekt. Rapporten är tänkt att utgöra en teoretisk grund för fortsatt forskning och utveckling kring dessa frågor i Sverige.

1.3 Några klargöranden om författarnas perspektiv

Diskussionen i rapporten förs ur ett riskperspektiv som tar avstamp i generella principer för riskhantering i geotekniska byggprojekt (i både jord och berg). Arbetet med att ta fram ett lämpligt förfrågningsunderlag och kontrakt i ett undermarksprojekt behöver nämligen ses som en del av parternas riskhantering i projektet. En lämplig arbetsgång för denna riskhantering ges av stegen i standarden ISO 31000 (ISO 2018). Hur de generella stegen i denna standard kan anpassas till geotekniskt byggande framgår i Svenska geotekniska föreningens metodbeskrivning för riskhantering (SGF 2017). Vägledning och rekommendationer för hur det praktiska riskhanteringsarbetet kan utföras i geotekniska byggprojekt ges vidare av Spross et al. (2015) och Olsson et al. (2019). För just kontraktsfrågor är den senare publikationen särskilt intressant, då den ger vägledning till arbetet med att uppnå systemförståelse av det geotekniska sammanhanget som man verkar i. Förståelsen av detta geotekniska sammanhang behöver i högsta grad genomsyra arbetet med att ta fram tydliga förfrågningsunderlag och kontrakt!

En viktig poäng som vi inledningsvis vill framhålla är att arbetsgången som beskrivs i ISO 31000 är generell. Det betyder att den är tillämpbar på egentligen alla målfokuserade processer där man på något sätt har att hantera osäkerheter. I undermarksprojekt, där stora risker behöver hanteras, kommer denna arbetsgång att behöva följas av många olika personer och i många olika sammanhang. Dessutom är processen iterativ, så att analysen förfinas ju mer detaljerade frågeställningar som man ställs inför i projektet. I ovan nämnda rapporter har framför allt tekniska risker diskuterats och

exemplifierats, men ett liknande förhållningssätt till geologiska och geotekniska risker behöver innehas även av den som fattar beslut i kontraktuella frågor.

Sist vill vi nämna att denna rapport diskuterar hur de två aktörerna beställare och entreprenör delar den ekonomiska risken vid undermarksbyggande. En tredje viktig branschaktör är konsulten, som kan arbeta på uppdrag åt antingen beställaren eller entreprenören. I denna förstudie har vi dock valt att inte diskutera konsultens roll specifikt, utan när vi refererar till ”beställaren” eller ”entreprenören” inbegriper dessa aktörsbeteckningar för enkelhets skull en eventuell konsult som utför arbete åt aktören.

1.4 Översikt över rapportens innehåll

För att ge ett helhetsperspektiv till hanteringen av ekonomiska risker i undermarksprojekt, inleder vi i kapitel 2 med hur man kan använda arbetsgången i ISO 31000 för att hantera risker vid val av affärsform (entreprenadform, kontraktstyp och dyl.). Om du redan är bekant med riskhanteringsmetodiken i ISO 31000 och de olika affärsformerna kan du gå direkt till kapitel 3, som ger de teoretiska principerna för hur geotekniska bedömningsgrunder kan förstås och användas för att hantera risker. I kapitel 4 ges ett praktiskt exempel med tillhörande diskussion. I kapitel 5 ges slutsatser och förslag på fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete.

2 ETT RISKPERSPEKTIV PÅ UPPHANDLING AV UNDERMARKSPROJEKT

2.1 Begreppen risk och riskägare

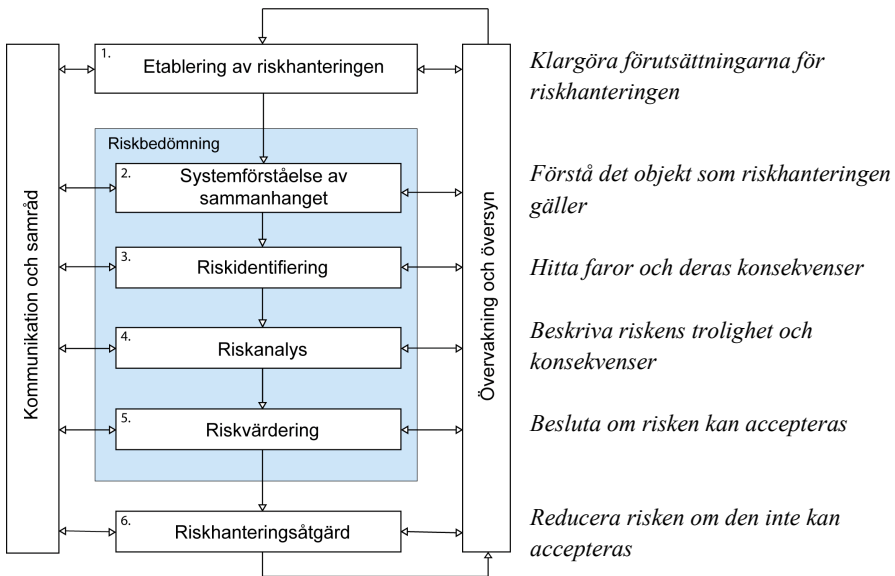
ISO 31000 definierar *risk* som ”osäkerhetens effekt på mål”. När man avser ekonomiska aspekter på ett byggprojekt kan denna definition av risk tolkas som ”hur mycket som osäkerheten om de faktiska markförhållandena påverkar möjligheten att färdigställa projektet inom i kontraktet specificerad tidplan och budget”. När man talar om rättvis riskdelning mellan beställare och entreprenör, handlar det alltså om vem av dessa parter som ska stå för kostnaderna som uppstår när det visar sig att tidplan och budget inte kommer att kunna ligga inom kontraktets ramar, d.v.s. att risken som orsakat försening eller fördröjning har fallit ut.

Ett centralt koncept i riskhantering är frågan om vem som är så kallad *riskägare*. Riskägaren är den ”person eller enhet som ansvarar för och har befogenhet att hantera en risk” (SGF 2017). När det gäller beslut kopplade till fördelning av den ekonomiska risken mellan beställare och entreprenör i undermarksprojekt, är det formuleringarna i kontraktet som avgör vem som är riskägare vid olika markförhållanden. När markförhållandena ligger inom kontraktets beskrivning är entreprenören ägare av risken kopplad till hur anbudets pris stämmer överens med uppkomna kostnader. Beställaren äger däremot risken kopplad till kostnadsökningar på grund av avvikelser från markförhållandena, d.v.s. när förhållandena ligger utanför kontraktets beskrivning. Beställaren äger även riskerna som kan hänföras till själva valet av entreprenadform och organisationen i stort, genom att dessa beslut kan vara mer eller mindre lämpliga för projektet som helhet, givet exempelvis projektets unika förutsättningar och de inblandade aktörernas kompetens.

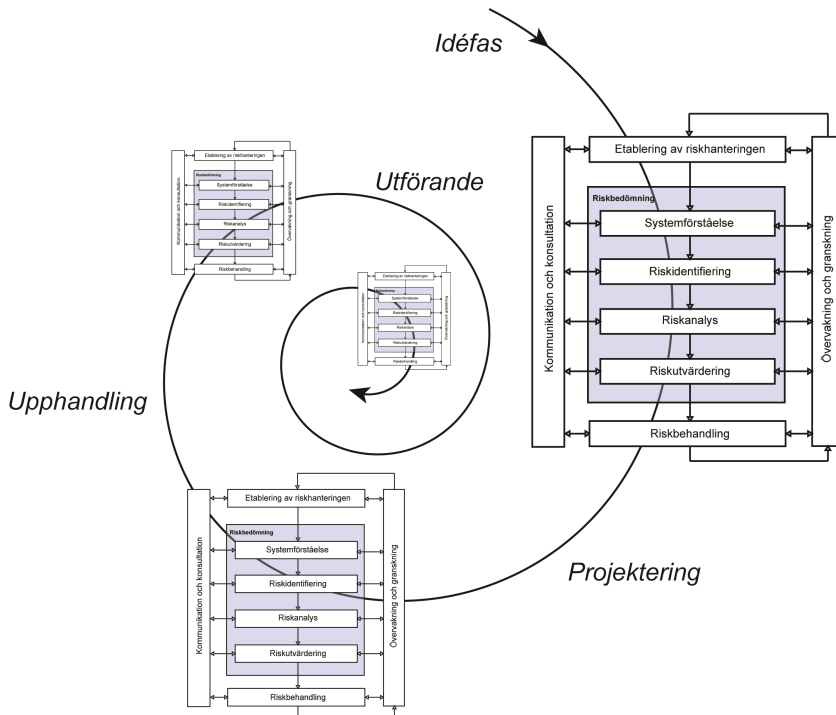
Från ett riskperspektiv är ett bra kontrakt ett sådant som tydligt förmår peka ut vilken part som är riskägare när problem och extra kostnader har uppstått. Tvister mellan parterna uppstår när det är otydligt hur kontraktet ska tolkas i en viss situation, alltså när det finns risker utan en tydlig ägare. Olsson et al. (2019) kallar dessa ännu inte fördelade risker för gråzonrisker. En vanlig orsak till att gråzonrisker uppstår är att ett och samma sakförhållande beskrivs på olika sätt på olika ställen i kontraktet. I komplexa projekt är det dock knappast realistiskt att tro att man ska kunna utforma ett kontrakt så att det inte finns något att tvista om, eftersom det finns väldigt många detaljer som ska regleras.

2.2 Översikt av stegen i riskhanteringsarbetet

ISO 31000 anger en lämplig generell arbetsgång för hur man kan hantera risker i en organisation. Denna arbetsgång har konkretiserats för geotekniskt byggande i Svenska geotekniska föreningens metodbeskrivning (SGF 2017). De generella stegen i arbetsgången visas i Figur 1. En viktig poäng är att arbetsgången är iterativ till sin natur, så under ett undermarksprojekt kommer inblandade ingenjörer och beslutsfattare att genomföra varje steg om och om igen, men med olika frågeställningar. Ett undermarksprojekt har ju många olika skeden, där varje skede har sina egna risker att hantera. Riskhanteringsarbetet görs därför med olika specifika syften och med olika detaljeringsgrad i olika skeden (Figur 2). Projektets olika aktörer, d.v.s. beställare, konsulter och entreprenörer, har också delvis olika risker att hantera och ibland olika syn på samma geotekniska frågeställning. För den praktiserande ingenjören är det därför nödvändigt att kunna tillämpa de generella principerna och arbetsgången i ISO 31000 på just det ansvarsområde som man själv har att hantera riskerna i. I denna rapport kommer vi framöver att diskutera hur just ekonomiska risker i undermarksprojekt kan hanteras med det ramverk som ISO 31000 erbjuder.



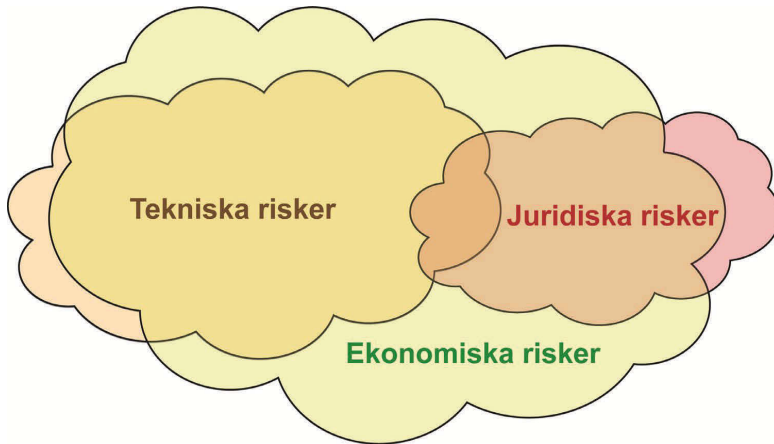
Figur 1. Arbetsgång för riskhantering enligt ISO 31000:s ramverk med vissa förtydliganden avsedda för geotekniskt byggande. I figuren används termerna från den senaste versionen av standarden (2018). Innehållsligt motsvarar de fortfarande termerna som användes i 2009 års version och som metodbeskrivningen i SGF (2017) utgår ifrån.



Figur 2. Riskhanteringen kommer att avse alltmer detaljerade frågeställningar allt eftersom man får bättre förståelse av projektet.

2.3 Ekonomiska och tekniska risker i undermarksprojekt

Hanteringen av ekonomiska risker i kontrakt utgör endast en aspekt på alla geologiska och geotekniska risker som man behöver hantera i ett undermarksprojekt. Faktiskt är det så att man spontant först ofta tänker på risker som påverkar konstruktionens säkerhet, hållbarhet, brukbarhet, miljöpåverkan och arbetarnas arbetsmiljö – alltså sådant som i första hand rör den tekniska designen – när risker i undermarksprojekt diskuteras. Man kan se detta som olika sfärer i vilka riskerna i ett undermarksprojekt hanteras, där de rent tekniska riskerna kring dimensioneringen ligger i en sfär och de ekonomiska riskerna ligger i en annan sfär (Figur 3). De tekniska riskerna hanteras normalt genom att man följer dimensioneringsstandarder som Eurokoderna och Trafikverkets rekommendationer för projektering av bergkonstruktioner, miljökrav från mark- och miljödomstolen, samt arbetsmiljölagstiftning. För de ekonomiska riskerna finns istället ett annat verktyg: kontraktet.



Figur 3. Risker i ett undermarksprojekt kan kategoriseras i olika sfärer, som dock ofta går in i varandra.

Som framgår av figuren är dock inte sfärerna oberoende, utan ekonomisk hänsyn tas vid de flesta beslut i dimensioneringsarbetet. Valet av teknisk lösning för att uppnå tillräcklig kvalitet har ofta stor påverkan på kostnaderna. Beställaren (eller dess upphandlade konsult) behöver därför göra avvägningar kring lämplig omfattning på geotekniska undersökningar, minimering av materialåtgång, avväganden kring beständighet kontra framtida underhållskostnader, och rationella utförandemetoder. Men utöver teknisk-ekonomiska överväganden, finns också vad man kan kalla ekonomisk-juridiska risker som avser *hur* de uppkomna kostnaderna i projektet ska fördelas mellan parterna i kontraktet. Det är hanteringen av just dessa ekonomisk-juridiska risker som behandlas i denna rapport.

I det följande ges en översikt av det övergripande sammanhang som de ekonomisk-juridiska riskerna befinner sig i. Denna översikt utgår ifrån de generella principerna för riskhantering.

2.4 Valet av affärsform

2.4.1 Terminologi

De ekonomisk-juridiska riskerna börjar få betydelse när beställaren ska välja ett lämpligt sätt att organisera projektet. Trafikverket, som är en i Sverige stor beställare av undermarksanläggningar, använder för detta arbete begreppet "val av affärsform". Eftersom många läsare är bekanta med Trafikverkets terminologi (Trafikverket 2010),

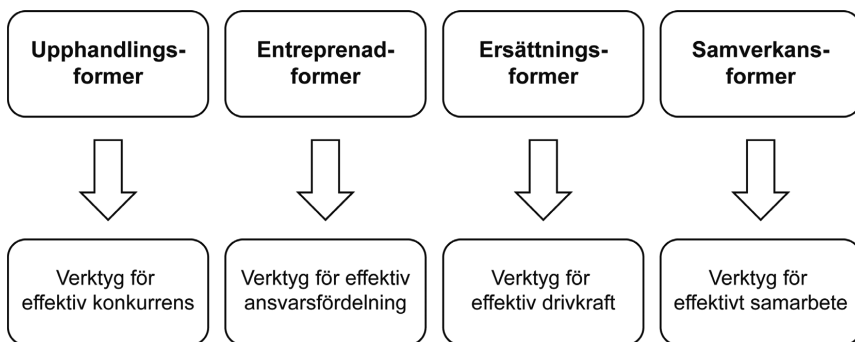
har vi valt att använda samma begrepp i denna rapport. Affärsform inkluderar fyra delområden: upphandlingsform, entreprenadform, ersättningsform och samverkan. De områdenas respektive syften framgår i Figur 4 och introduceras kortfattat i det följande.

2.4.2 Upphandlingsform

Upphandlingsformen avser hur man väljer att utvärdera inkomna anbud, exempelvis hur man väger samman och jämför entreprenörernas prisnivå och bedömd förmåga till kvalitet i arbetet. Även principer för hur man kommunicerar förutsättningarna för anbud till potentiella anbudsgivare räknas till begreppet upphandlingsform. För offentlig transportinfrastruktur såsom tunnlar ger svensk lag Trafikverket möjlighet till pre-kvalificering, vilket innebär att beställaren väljer ut ett antal lämpliga entreprenadbolag enligt fördefinierade kriterier. Om Trafikverket väljer ett sådant förfarande, bjuds endast dessa bolag in att lämna anbud. På detta sätt kan man i tidigt skede sortera bort bolag som man bedömer har mycket liten chans att bli bäst anbudsgivare, samtidigt som dessa bortvalda bolag slipper lägga möda på att förbereda anbud. Vår uppfattning är att upphandlingsformen är av begränsad vikt för den principiella hanteringen av ekonomisk-juridiska risker under byggtiden, så detta diskuteras inte vidare i denna förstudie.

2.4.3 Entreprenadform

Valet av entreprenadform avser dels den övergripande principen för parternas risktagande i byggprojektet, dels principerna för hur ansvaret ska fördelas mellan de ingående parterna, vilket särskilt i stora projekt kan göras på flera olika sätt. Ur ett riskperspektiv anser vi att Figur 4:s ”effektiv ansvarsfördelning” bäst förstås som tydlig ansvarsfördelning avseende projektets risker.



Figur 4. Delområdena som beaktas i Trafikverkets val av affärsform (efter Trafikverket 2010).

När det gäller principen för risktagande gäller att entreprenören i en *totalentreprenad* generellt åtar sig fler och större risker än i en *utförandeentreprenad*. I en utförandeentreprenad ansvarar beställaren för projekteringen och entreprenören utför arbetet enligt beställarens instruktion. I en totalentreprenad svarar normalt entreprenören även för projekteringen, baserat på så kallade funktionskrav från beställaren. Notera här att beställarens beskrivning av vilka markförhållanden som entreprenören utan extra ersättning måste klara av att hantera, *inte* är samma sak som karaktäristiska egenskaper på vilken entreprenören kan basera sin dimensionering (att så är fallet framgår av kapitel 3). Totalentreprenad anses ofta gynna teknisk innovation, då den låter anbudsgivarna konkurrera genom sin förmåga att ta fram kostnadseffektiva tekniska lösningar.

När det gäller hur ansvaret ska fördelas mellan de ingående parterna finns exempelvis *delad entreprenad* där beställaren samordnar flera sidoentreprenörers arbeten, samt *generalentreprenad* där ett entreprenadbolag samordnar ett antal underentreprenörers arbeten. Dessa principer för ansvarsfördelning kan användas i både utförandeentreprenader och totalentreprenader. I denna rapport kommer vi dock begränsa diskussionen av entreprenadform till att enbart belysa skillnaderna mellan traditionell utförandeentreprenad, totalentreprenad och specialfallet *samverkansentreprenad* (se vidare i avsnitt 2.4.5 om den sistnämnda).

2.4.4 Ersättningsform

Det finns tre grundprinciper för hur entreprenören får betalt för sitt arbete i ett byggprojekt: *fast pris*, *löpande räkning* och *mängdkontrakt*. Figur 4:s ”effektiv drivkraft” kan avse exempelvis att ersättningen rättvist avspeglar arbetenas kvalitet och entreprenörens risktagande. Fast pris innebär att entreprenören får betalt för hela entreprenaden med en i förväg fastställd summa, som eventuellt kan indexregleras.

Löpande räkning innebär att entreprenören får betalt för sina kostnader plus ett procentpåslag, som lite förenklat ska täcka overheadkostnader, riskpremie och vinst för entreprenadbolaget. Denna ersättningsform används ofta när det är svårt att i förväg beskriva arbetets omfattning och när beställaren vill undvika att entreprenören drivs att nagga på kvaliteten för att öka vinsten. För att öka incitamentet för entreprenören att hålla nere sina kostnader används ibland antingen ett fast arvode istället för procentpåslag, eller en mekanism med så kallat *riktpris* (budgeterade kostnader plus arvode), där entreprenören inte får full kostnadstäckning om totalkostnaden överskrider det i förväg överenskomna riktpriset.

I ett mängdkontrakt har beställaren delat upp arbetet i ett större antal mindre enheter, där entreprenören prissätter varje enhet för sig med ett à-pris. De faktiska mängderna

som utförs under byggprojektet multipliceras sedan med dessa à-priser när ersättningen till entreprenören ska regleras.

2.4.5 Samverkan och samverkansentreprenader

För att underlätta det praktiska utbytet av information och styrning av projektet mot hög kvalitet i slutprodukten, kan man organisera arbetet i olika grader av samverkan mellan beställaren och entreprenören. Exempelvis kan ISO 44001 "Ledningssystem för affärsrelationer i samverkan – Krav och ramverk" (ISO 2017) användas för att organisera ett sådant arbete.

Figur 4:s "effektivt samarbete" bör ur ett riskperspektiv alltså förstås som att man möjliggör att bästa möjliga metoder används i projektet för att hantera riskerna, avseende såväl utförandemetoder som riskhanteringsmetodiken i sig. Detta kan göras både i tidiga skeden genom så kallad *early contractor involvement* och under utförandeskedet i utförandentreprenader på löpande räkning.

Entreprenader med hög grad av samverkan har vi i denna rapport valt att kalla *samverkansentreprenader*. Tanken med dem är att beställaren och entreprenören ingår en formell samverkansrelation, för att beställaren ska få del av entreprenörens tekniska sakkunskap och därigenom erhålla en högre kvalitet eller lägre pris, än om beställaren bara haft den egna kompetensen att tillgå. Exempelvis kanske entreprenören genom sin produktionserfarenhet kan se till att svårutförda konstruktionslösningar undviks i projekteringen, vilket kan minska sannolikheten för förseningar under byggtiden. Notera dock att en samverkansentreprenad inte innebär att entreprenören övertar beställarens ansvar för risker kopplat till projektets övergripande ekonomi och önskad teknisk kvalitet: trots att de samverkar, så är beställaren och entreprenören inte på samma sida i kontraktet.

2.5 Etablering av riskhanteringen i valet av entreprenadform och ersättningsform

Arbetet med att välja den lämpligaste entreprenadformen och ersättningsformen för ett undermarksprojekt är ett mycket komplext arbete. I detta läge behöver man etablera arbetet med hanteringen av tillhörande risker. SGF (2017) anger ett antal baskrav som alltid behöver uppfyllas för en framgångsrik riskhantering i geotekniska projekt. Kraven rör inblandade personers kompetens och kunskap i riskhantering samt hur arbetet med riskhanteringen organiseras och kommuniceras. I nästa stycke diskuteras hur dessa krav kan uppfyllas i detta fall.

För att hantera riskerna i valet av entreprenad- och ersättningsform krävs god förståelse inte bara av entreprenadjuridik i sig, utan även kunskap om hur olika geologiska och

geotekniska förutsättningar bäst beskrivs och regleras mellan projektets parter i ett kontrakt. Mycket få personer, om ens någon, besitter själv all den kompetens som krävs för att avgöra detta. Alltså krävs för denna uppgift ett noga sammansatt team av både jurister, inköpare, ingenjörer och naturvetare, samtliga med expertkompetens inom bergbyggande och där centrala personer även behöver ha kunskap inom riskhantering. Finns inte dessa kompetenser i den egna organisationen, behöver utomstående expertis anlitas. Beslutsfattare i den egna organisationen behöver förstå åtminstone de grundläggande principerna för riskhantering, så att det kan säkerställas att besluten överensstämmer med organisationens policy för risktagande. Då problemställningen är komplex och rör stora belopp, behöver beslutsfattare se till att teamet ges tillräckligt med tid för uppdraget. Slutligen behöver man se till att tänka tillvägagångssätt för hur kontraktet ska hantera risker, dokumenteras och kommuniceras med rätt personer i utförandeskedet, så att regleringen av uppkomna kostnader sker på avsett sätt mellan parterna.

2.6 Systemförståelse av geotekniska och kontraktuella sammanhang

2.6.1 Funktioner och bakomliggande faktorer

I rapporten av Olsson et al. (2019) ges en detaljerad vägledning till hur man kan skapa sig tillräcklig förståelse av det objekt som riskhanteringen avser i det specifika fallet. De generella principer som Olsson et al. föreslår används här till arbetet med att ta fram geotekniska bedömningsgrunder. Vi använder därför också samma terminologi som dem.

För att kunna bedöma hur osäkerheten om markförhållandena påverkar möjligheten att klara tidplan och budget, behöver man förstå osäkerheten i relation till målet. Detta kan kallas att förstå det *geotekniska sammanhanget*, vilket ibland också benämns geoteknisk kontext. I början av ett projekt behöver man få en övergripande förståelse av det geotekniska sammanhanget, så att rätt typ av konstruktionslösning väljs. Vi kallar detta mycket viktiga initiala riskhanteringsarbete för att uppnå *systemförståelse* (se Figur 1). Några exempel på överväganden för att skapa systemförståelse: Är det – givet förutsättningarna – en tunnelbormningsmaskin, konventionell tunneldrivning (bormning-sprängning) eller en ytlig öppen schakt (cut-and-cover), som troligen är lämpligast utförandemetod? Är det troligt att betonglining eller till och med frysning kommer att behövas för att klara inläckagekrav och stabilitet? Därtill ska en lämplig affärsform väljas som är anpassad för att kontraktuellt hantera de geotekniska förutsättningarna på platsen. Om man överväger ”early contractor involvement”, behöver man förstås ha affärsformen klar först, så att entreprenören kan vara med och påverka valet av konstruktionslösning.

För att bygga upp en sådan systemförståelse behöver man kunna beskriva målet och det geotekniska sammanhanget med en stringent terminologi. I denna rapport använder vi oss av begreppen *funktioner* och bakomliggande *faktorer*. Systemförståelsen uppstår när man förstår hur ett projekts definierade funktioner (som är ett sätt att beskriva mål) kan kopplas till osäkra, bakomliggande faktorer. Olsson et al. (2019) grupperar dessa bakomliggande faktorer i:

- *Fysiska faktorer*, med undergrupper såsom geografiska förutsättningar, befintlig infrastruktur, markföroreningar.
- *Organisatoriska, ekonomiska och legala faktorer*, exempelvis lagar och förordningar, kompetensnivå i branschen.
- *Geotekniska faktorer*, exempelvis geologi, grundvatten, geoteknik.

Ett projekts funktioner utgörs av alla de aspekter på ett projekt som måste uppfyllas för att det ska kunna sägas ha utförts med tillräcklig kvalitet (i nivå med beställarens krav och berättigade förväntningar). Kvalitet avser här inte bara uppfyllande av tekniska specifikationer rörande tillräcklig säkerhet mot kollaps och tillfredsställande brukbarhet, utan även förväntningar rörande tidplan, kostnad, miljöpåverkan och acceptabel arbetsmiljö under byggtiden. För ett stort undermarksprojekt kan antalet funktioner vara mycket stort, om man går ned på detaljnivå. I tidiga skeden gäller det att kunna identifiera vilka som är de viktigaste övergripande funktionerna för projektets kvalitet.

Några exempel på viktiga funktioner kopplade till projektets ekonomi är:

- att designlösningen är byggbar i de möjliga markförhållandena,
- att utförandet av designlösningen låter sig göras inom tidplanen,
- att entreprenörens ersättning i slutändan rättvist avspeglar både konstruktionens tekniska kvalitet och parternas risktagande under byggtiden,
- att kontraktet är formulerat på ett tydligt sätt att tvist inte uppstår, även om de geotekniska förhållandena visar sig svåra att bygga i.

En och samma funktion kan ofta beskrivas på olika sätt, men det centrala är att alla funktioner sammantaget täcker in det som man vill uppnå med projektet.

2.6.2 Geoteknisk osäkerhet: En fråga om kunskap

För att kunna bedöma risken som kopplas till respektive definierad funktion, behöver man göra sig en bild av vilka osäkerheter som påverkar möjligheten att uppnå

funktionens krav. För de risker som berör projektets ekonomi finner man de största osäkerheterna i bakomliggande geotekniska faktorer, d.v.s. i undergrupperna geologi, grundvatten och geoteknik. Osäkerheten kring dessa faktorer är starkt kopplad till den rådande kunskapsnivån om markförhållandena, alltså det som kallas *epistemisk* osäkerhet (Der Kiureghian & Ditlevsen 2009). Om man exempelvis har gjort omfattande hydrogeologiska undersökningar (hög kunskapsnivå) kan man med större säkerhet uttala sig om förväntad omfattning på tätningsåtgärder, än om undersökningarna är få och av mer rudimentär natur. Om osäkerheten om de hydrogeologiska förhållandena är stor, blir det i förlängningen svårt att bedöma tidsåtgång och kostnad för tätningsinsatser. Begreppet epistemisk osäkerhet diskuteras vidare i detalj i avsnitt 3.3.1.

2.6.3 Kontraktuella gråzonsrisker

Det finns också relevanta bakomliggande faktorer i kategorin organisatoriska, ekonomiska och legala faktorer. Ett exempel är osäkerhet kring ägandet av gråzonsriskerna, alltså vilken part som kommer att behöva stå för kostnaden för en av någon part identifierad, men kontraktuellt oreglerad risk. Rådande rättstillämpning är här den bakomliggande faktorn.

2.6.4 Tolkningen av det geotekniska sammanhanget

Den centrala ingenjörsuppgiften för att kunna välja konstruktionslösning och affärsform är att *tolka* det geotekniska sammanhanget. Detta avser arbetet med att hitta de konceptuella kopplingarna mellan bakomliggande faktorer och projektets funktioner. Olsson et al. (2019) framhäver att denna tolkning ska göras utifrån vad resultatet sedan ska användas till. För riskhanteringen rörande ekonomiska aspekter görs tolkningen utifrån vad som kan komma att orsaka högre kostnader i projektet. (Detta kan jämföras med ett tolkningsarbete som görs enbart utifrån tekniska kvalitetskrav på slutprodukten, där det då inte spelar någon roll hur lång tid ett arbetsmoment tar, bara de tekniska egenskaperna blir enligt specifikationen i slutändan).

2.6.5 Systemet geoteknik–kontrakt

När man skapat sig en bild av hur relevanta faktorer och funktioner hänger samman, behöver man sätta denna systemförståelse i sitt relevanta sammanhang. För ekonomiska risker är detta det *kontraktuella sammanhanget*. Frågan är nu alltså vilken entreprenadform och ersättningsform som bäst lämpar sig, för att man med så stor sannolikhet som möjligt ska klara av att uppnå de krav som beskrivs av projektets funktioner (förenklat uttryckt som att tidplan hålls, samt att kostnader minimeras och fördelas rättvist mellan projektets parter)? Här spelar ofta beställarorganisationens erfarenhet från tidigare projekt en viktig roll, men notera att personliga preferenser och egna erfarenheter hos individer i projektledningen lätt kan komma att spela stor roll för vilket beslut som i

slutändan tas. Detta eftersom frågeställningen är mycket komplex och det då är svårt att objektivt väga olika för- och nackdelar mot varandra. Att i en beställarorganisation ha goda rutiner för erfarenhetsåterföring från utförda projekt kan därför vara mycket viktigt, så att inte bara enskilda individers erfarenheter ligger det grund för dessa avgörande beslut i kommande byggprojekt.

Frågeställningar som är viktiga att beakta i detta skede är exempelvis bedömd komplexitetsgrad hos projektet, frihetsgraden bland möjliga konstruktionslösningar, och möjligheten att beskriva de geologiska och geotekniska förutsättningarna på ett korrekt och kontraktuellt reglerbart sätt.

Om projektet har hög komplexitetsgrad, som kräver stor flexibilitet under byggtiden på grund av att de faktiska geotekniska förutsättningarna är mycket osäkra, kan det tala för entreprenad- och ersättningsformer som innebär att beställaren kan ändra tekniska lösningar under byggtiden, exempelvis utförandeentreprenad eller samverkansentreprenad på löpande räkning. Om projektet i stället är okomplicerat kan man överväga totalentreprenad med fast pris. Mellan dessa ytterligheter finns förstås ett stort antal kombinationer och möjliga varianter.

2.7 Riskbedömning av entreprenad- och ersättningsform

När man har en grundidé om vilken entreprenad- och ersättningsform som kan vara rimlig att gå vidare med, behöver man noggrant bedöma riskerna med förslaget. Detta görs genom riskidentifiering, riskanalys och riskvärdering (se Figur 1). Hur en sådan riskbedömning av entreprenad- och ersättningsformer kan struktureras för ett geotekniskt byggprojekt har tidigare beskrivits av Spross et al. (2015).

Riskbedömningen avslutas med riskägarens beslut om analyserat förslag är acceptabelt ur ett riskperspektiv, eller om det behöver arbetas om. En sådan omarbetning kan då kallas riskhanteringsåtgärd, enligt den terminologi som används i ISO 31000:2018 (Figur 1), men tidigare känt som riskbehandling.

2.8 Riskhanteringsåtgärder vid val av entreprenad- och ersättningsform

Om riskerna med föreslagen entreprenad- och ersättningsform bedöms vara alltför stora, krävs någon form av riskhanteringsåtgärd. Åtgärden kan i detta läge innebära att man justerar förslaget på något sätt:

- Kanske behöver man ange ett riktpreis för projekt på löpande räkning, för att ge bättre incitament åt entreprenören att hålla nere kostnaderna och använda sin mest kvalificerade personal, för att minska sannolikheten att budgeten eller tid-

planen överskrids? Kanske behöver man tydliggöra i förfrågningsunderlaget på vilka grunder riktpriiset ska beräknas och under vilka förutsättningar som riktpriiset kan justeras för att minska sannolikheten för tvist? Kanske behöver man tydliggöra krav på entreprenörens personal och organisation?

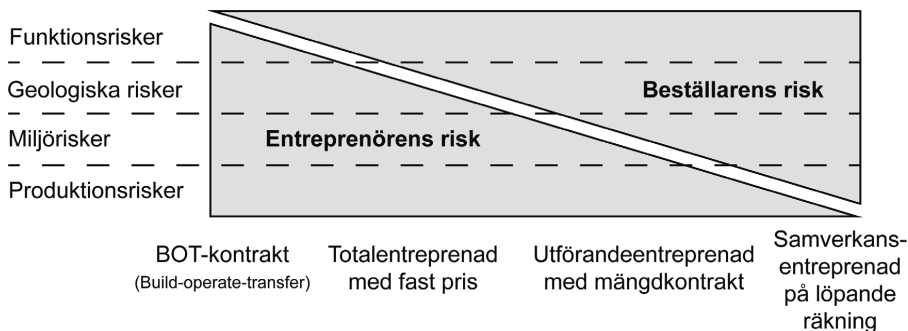
- Kanske bedöms ett projekt med föreslagen utförandeentreprenad med mängdkontakt trots allt vara alltför komplext för att arbetet ska kunna beskrivas i teknisk beskrivning med tillhörande å-prislista, utan att tvist uppstår kring beställarens uppskattade mängder? Kan någon variant på löpande räkning då vara ett bättre alternativ?
- Kanske är en utförandeentreprenad med mängdkontakt en bättre lösning än en totalentreprenad med funktionskrav och fast pris, för att undvika att anbudsgivare tar stora risker genom att missförstå eller spekulera i tolkningen av de geotekniska förutsättningarna, när de bedömer behovet av bergförstärkning? (Här kan upphandlingsformen spela roll: Har alla anbudsgivare bedömts ha hög kompetens i en prekvalificering, så att det är osannolikt att någon anbudsgivare lämnar ett orealistiskt lågt pris och sedan riskerar konkurs?)
- Kanske kan en del av en totalentreprenad med fast pris lyftas ut till ett mängdkontrakt, för att minska riskpremien som beställaren annars måste betala för entreprenörens risktagande?

Om justeringar görs av föreslagen entreprenad- och ersättningsform behöver man förstås bedöma om det finns risker med dessa justeringar, så att de inte ger några oväntade och oönskade bieffekter. Detta kan teoretiskt sett ses som att det reviderade förslaget genomgår ett nytt varv i riskhanteringscykeln i Figur 1. En viktig insikt att ha med sig är att valet av entreprenad- och ersättningsform har stor påverkan på hur systemet geoteknik-kontrakt ser ut. Detta val har därmed stor effekt på beställarens möjlighet att kostnadseffektivt hantera de geologiska och geotekniska riskerna i ett undermarksprojekt, varför detta arbete förtjänar noggranna analyser och överväganden.

2.9 Frågan om vem som ska äga den ekonomiska risken

2.9.1 Riskdelning i olika entreprenadformer

En central fråga vid valet av entreprenad- och ersättningsform är vilken part som ska bära huvuddelen av den ekonomiska risken i projektet. Översiktligt, och något förenklat, gäller ansvarsfördelningen som visas i Figur 5, där Palmström & Stille (2015) illustrerar fördelningen som vanligtvis gäller för några olika kategorier av risker i olika entreprenadformer. Exempel på risker i de olika kategorierna ges i Tabell 1.



Figur 5. Ansvarsfördelning för risker i olika entreprenad- och ersättningsformer (efter Palmström och Stille, 2015).

Tabell 1. Exempel på risker i kategorierna i Figur 5.

Riskkategori	Exempel på risk uttryckt som hot och konsekvens
<i>Tydlig riskägare</i>	
Funktionsrisker	Teknisk lösning i tunnelkonstruktionen orsakar vibrationer i passerande höghastighetståg, så farten måste sänkas
Geologiska risker	Plötsligt stort inflöde av vatten under byggtiden ger försening och ökade kostnader för tätning
Miljörisker (omgivningspåverkan)	Oacceptabelt stora sättningar på markytan kräver byte av tätningmetod
Produktionsrisker	Försening orsakat av att maskiner går sönder oftare än beräknat
<i>Otydlig(are) riskägare</i>	
Organisationsrisker	Beslutsvägar är långsamma, så beslut kommer senare än optimalt för projektet och förseningar ackumuleras
Kontraktsrisker	Otydligt i kontraktet vem som ska betala en oväntad kostnadsökning

Utöver de fyra kategorierna av risker i Figur 5, så finns även risker som inte har en tydlig riskägare, nämligen organisationsrisker och kontraktsrisker. Kostnadsökningar som uppstår på grund av organisationsrisker är ofta indirekta och därmed svåra att reglera till en ansvarig part. Kontraktsrisker är däremot tydliga när de uppstår, men leder då till en tvist mellan de involverade parterna, vilket i sig leder till ökade kostnader på båda sidor för utredningar och jurister (tills en överenskommelse eller dom avgör hur kostnaderna ska fördelas).

Som framgår av Figur 5 är riskdelningen olika i olika entreprenad- och ersättningsformer. I avsnitt 2.9.2–2.9.4 diskuteras förutsättningarna för att hantera dessa olika typer av risker i de olika fallen, där vi börjar med den i Sverige vanligaste formen.

2.9.2 Riskdelning i utförandeentreprenader med mängdkontrakt

När beställaren upphandlar för en utförandeentreprenad, tar beställaren på sig ansvaret för den tekniska lösningen och fastställer metoden för utförandet i en så kallad Teknisk beskrivning. Denna utgör en del av förfrågningsunderlaget, som anbudsgivaren utgår ifrån i sin prissättning i anbudet. Normalt prissätts en utförandeentreprenad i ett mängdkontrakt, d.v.s. genom att entreprenören i en à-prislista (pris per utförd enhet) prissätter ett stort antal komponenter, materialförbrukning och arbetsmoment. I förfrågningsunderlaget anger beställaren förväntad mängd för alla enheter. Om antalet i verkligheten kom att avvika kraftigt från den skattade mängden har entreprenören normalt rätt att omförhandla priset på den enheten. Detta eftersom stora avvikelser kan påverka utförandet av andra arbeten eller hur resurser nyttjas. Tanken i ett mängdkontrakt är att ersättningen till entreprenören anpassas till de faktiska markförhållandena, så att beställaren automatiskt äger de geologiska riskerna.

Ur ett riskdelningsperspektiv är det viktigt att de prissatta enheterna på ett relevant sätt har förmåga att återspegla de faktiska kostnaderna som olika markförhållanden kan medföra. Detta kan i praktiken bli mycket komplext, exempelvis eftersom samma konstruktionsåtgärd kan ta olika lång tid i olika geologiska förhållanden, även om samma mängd material går åt. Att då enbart ge ersättning för materialåtgång kan ge ett mycket oförutsägbart risktagande för entreprenören: om ogynnsamma markförhållanden gör det mycket tidskrävande att utföra arbetena, uppstår förseningar. Det ger ökade så kallade *allmänna kostnader* för entreprenören, eftersom personal och maskiner behöver stanna på arbetsplatsen under längre tid än förväntat, samtidigt som kontraktet inte kompenserar entreprenören för ökade allmänna kostnader, eftersom materialåtgången inte har ökat i motsvarande grad. Ett typexempel är tidskrävande injekteringsarbeten i tunnlar i de fall mängden bruk ändå inte blir särskilt stor. Man kan här förstås invända att entreprenören i sitt anbud måste ta höjd för att sådana ogynnsamma markförhållanden kan uppträda, men frågan är om det för beställaren verkligen är fördelaktigt

att tvinga anbudsgivare att i sin prissättning av materialåtgång inkludera även riskpremien för tidskrävande markförhållanden. Beställaren behöver alltså noga överväga vilka enheter som ska prissättas i mängdkontraktet, så att risken relaterad till olika typer av osäkra markförhållanden fördelas rättvist mellan parterna och ersätts ekonomiskt i motsvarande grad. Ett alternativ till dagens svenska praxis är att hantera de allmänna kostnaderna som separata enheter, istället för att lägga dem som ett prispåslag på förbrukat material. Det centrala i sammanhanget är att projektet ska vara kalkylerbart med avseende på risktagandet, utifrån förfrågningsunderlaget.

2.9.3 Riskdelning i samverkansentreprenader på löpande räkning

Ett specialfall av utförandeentreprenad är när den ingår i en samverkan mellan beställare och entreprenör, vilket vi kallar samverkansentreprenad på löpande räkning. Såsom framgår i Figur 5 ger detta fall det största riskägarskapet för beställaren, där beställaren alltså delvis äger risker kopplade till produktionsmetoden. Ett exempel är om entreprenören föreslår en produktionsmetod som beställaren accepterar. Beställaren har då beslutat om, och därmed tagit ansvar för, den tekniska lösningen och äger då risken kopplad till dess lämplighet givet markförhållandena på platsen. Entreprenören kommer dock fortsatt äga risker kopplade till att de beslutade arbetena utförs på ett korrekt sätt med en för ändamålet lämplig utrustning och tillräckligt kunnig personal.

Att fastslå ett rättvist så kallat riktpreis (vars överskridande innebär att entreprenören inte längre får full täckning för sina kostnader) är ett komplext problem sett ur ett riskperspektiv. Vid samverkansentreprenad har ju entreprenören projekterat anläggningen och kostnadsberäknat denna, i samråd med beställaren. Denna kostnadsberäkning ligger sedan till grund för riktpriiset. Här blir det centralt att riktpriiset tar höjd för rådande risker och att beställare och entreprenör är helt överens om vilka risker som ligger på entreprenören inom kontraktet, och vad som krävs för att riktpriiset ska förhandlas om (höjas).

2.9.4 Riskdelning i totalentreprenader med fast pris

I en totalentreprenad ska entreprenören ersättas för att den byggda konstruktionen uppfyller beställarens funktionskrav. Totalentreprenader prissätts normalt med fast pris. Tanken är, något förenklat, att hänskjuta riskägande av geologiska och geotekniska risker till entreprenören, som genom sin kunskap och erfarenhet om undermarksbyggande skulle vara bättre skickad än beställaren att hantera sådana risker kostnads-effektivt. Entreprenören förutsätts i sitt anbud ta höjd för detta risktagande genom att lägga in en riskpremie i anbudssumman. Om entreprenören hittar smarta tekniska lösningar som minskar den egna risken finns möjlighet att ge konkurrenskraftigare anbud eller få bättre vinst. På så sätt ska marknadskrafterna gynna innovation och

kostnadseffektivitet, istället för att en dominant beställare använder samma – med tiden alltmer utdaterade – tekniska lösningar i alla projekt.

Marknadslogiken fungerar dock på så sätt att en entreprenör som missbedömer risktagandet, och därför lägger ett alltför lågt anbud, kan hamna i en mycket svår ekonomisk situation, om markförhållandena visa sig vara mycket ogynnsammare än de egna antagandena. Eftersom osäkerheten om markförhållandena normalt är stor i undermarksprojekt, är detta inte ett osannolikt scenario. Sådana fall slutar ofta i juridisk tvist avseende huruvida de verkliga förhållandena faktiskt kunde utläsas i förfrågningsunderlaget eller ej.

Utmaningen med totalentreprenader för undermarksbyggande ligger i att göra förfrågningsunderlaget kalkylerbart. Finns det en rimlig möjlighet för en anbudsgivare att korrekt bedöma osäkerheten om markförhållandena, så att en korrekt riskpremie kan sättas på anbudet? Om så inte är fallet, tvingas entreprenören närmast till rena chansningar, såvida man inte väljer att avstå från att lägga ett anbud.

När problem uppstår under byggtiden kan det sedan för beställare vara lockande att anta mentaliteten ”Du la anbud, så bygg!” (engelska: ”You bid it, you build it”), även om ett undermåligt, icke kalkylerbart förfrågningsunderlag varit åtminstone en av orsakerna till felbedömningen. Enligt Hatem & Essex (2013) var en sådan mentalitet tidigare mycket vanlig bland beställare av undermarkskonstruktioner i USA. De hävdar vidare att en sådan mentalitet kan vara på väg tillbaka i USA, i ljuset av ett ökande antal totalentreprenader och så kallade public–private partnerships (PPP).

Knäckfrågan ligger i avgränsningen av de geologiska riskerna som hänförs till entreprenören i totalentreprenaden och hur denna avgränsning ska göras begripligt i förfrågningsunderlaget. Medan dimensioneringsarbetet för att säkerställa en konstruktions säkerhetsnivå kan gynnas av att geotekniska osäkerheter diskuteras och beskrivs i vaga ordalag, som passar rådande kunskapsläge, så är vaghet sällan lämpligt i kontrakt, då det ger utrymme för olika tolkningar. Respektive avtalspart vill förstås då göra den för egen del mest gynnsamma tolkningen, vilket ofta leder till tvist.

2.9.5 Hur definieras kontraktets yttre ramar?

Eftersom osäkerheten kan vara mycket stor avseende markförhållandena i ett undermarksprojekt, har man med tiden funnit det rimligt att avgränsa entreprenörens ansvar att kunna hantera de markförhållanden som uppträder. Det ligger sällan i beställarens intresse att skjuta över precis all geologisk och geoteknisk risk på entreprenören, om man vill ha ett kostnadseffektivt byggande. Istället kan beställaren välja att själv påta sig risken kopplad till utvalda kostnadsdrivande men osannolika förhållanden, vilket innebär att entreprenören har rätt till extra ersättning om de förhållandena ändå skulle

uppträda. Dessa osannolika förhållanden kan sägas ligga utanför kontraktets beskrivning.

Oavsett entreprenad- och ersättningsform uppstår då ett gränsdragningsproblem: exakt vilka markförhållanden behöver beaktas i entreprenörens anbud och vilka förhållanden kommer ligga utanför kontraktets beskrivning? I Nordamerika har man utvecklat ett specifikt kontraktsdokument för detta ändamål. Dokumentet har kommit att kallas *Geotechnical Baseline Report*, med förkortningen GBR. Vi föreslår översättningen "Rapport för geotekniska bedömningsgrunder", alternativt "Geoteknisk bedömningsgrundsrapport", då detta dokument såvitt vi känner till saknar svenskt namn. Vi kommer fortsättningsvis att använda denna svenska översättning. Eftersom initialbokstäverna liknar de engelska, så bör den engelska förkortningen GBR även kunna fungera på svenska.

I nästa kapitel diskuteras hur risker kopplade till markförhållandena kan regleras med sådana geotekniska bedömningsgrunder.

3 GEOTEKNISKA BEDÖMNINGSGRUNDER – TEORETISKA PRINCIPER

3.1 Bakgrund

Konceptet med en rapport för geotekniska bedömningsgrunder utvecklades i Nordamerika på 1990-talet under namnet Geotechnical Baseline Report, GBR. (Se avsnitt 2.9.5 för diskussion av dess svenska översättning.) Bakgrunden till det nya dokumentformatet var att många amerikanska beställare upplevde att anbudsgivare i geotekniska projekt inte själva förmådde uttolka rådande risker och osäkerheter utifrån förfrågningsunderlagets redovisade data från förundersökningar. Dessutom tenderade prispressen att göra att vinnande anbudsgivare blev den som gjort överoptimistiska tolkningar, vilket sedan ofta ledde till kompensationskrav från entreprenören när markförhållandena visade sig vara sämre än entreprenörens optimistiska antaganden (Essex 1997). Enligt Essex (2014) ville man åstadkomma ett klimat i branschen där man accepterar och rättvist delar risk, snarare än att beställaren gör allt för att flytta så mycket risk som möjligt till entreprenören, då ett sådant förfarande tenderade att öka riskpremierna i anbudet, som ju beställaren fick betala oavsett det faktiska utfallet.

3.2 Varför ha geotekniska bedömningsgrunder?

American Society of Civil Engineers (ASCE) har publicerat rekommendationer för praktisk användning av geotekniska bedömningsgrunder i en amerikansk kontraktskontext, i denna förstudie refererat som Essex (1997). Huvudsyftet med att i ett undermarksprojekt ha rapporten för geotekniska bedömningsgrunder anges vara att ge tydliga indikatorer i kontraktet för att lösa tvister avseende markförhållandena. Därutöver anser Essex att en sådan rapport ska kunna:

- 1) Förbättra entreprenörens förståelse av projektets omfattning och särskilt viktiga krav på slutprodukten,
- 2) Identifiera viktiga överväganden och begränsningar som entreprenören behöver beakta i anbudet och vid byggandet,
- 3) Ge vägledning åt entreprenören i utförandet av arbetet, samt
- 4) Ge vägledning åt byggledningen i administrerandet av kontraktet och uppföljningen av entreprenörens utförda arbete.

3.3 Teoretiska principer för geotekniska bedömningsgrunder

3.3.1 Aleatorisk och epistemisk osäkerhet

För att kunna beskriva och hantera geotekniska osäkerheter i undermarksprojekt behöver man förstå skillnaden mellan *aleatorisk* osäkerhet och *epistemisk* osäkerhet inom geotekniken. Aleatorisk osäkerhet avser slumpmässig variation i en parameter. Exempel på detta är den framtida hållfastheten i ännu inte gjuten betong. Latinets *alea* betyder tärning och betongs framtida hållfasthet efter gjutning kan här liknas vid ett träningskast: innan gjutning är det helt omöjligt att ta reda på betongens exakta hållfasthet, men man kan ha en uppfattning om vilka värden den rimligen kan tänkas få, liknande en tärning vars utfall man vet är ett heltal mellan 1 och 6.

Epistemisk osäkerhet avser brist på kunskap om en parameters faktiska värde, exempelvis osäkerheten om en bergsprickas faktiska utsträckning eller bergmassans genomsnittliga hydrauliska konduktivitet. Den centrala skillnaden mellan aleatorisk och epistemisk osäkerhet är att den epistemiska osäkerheten kan minskas genom att skaffa sig mer kunskap om de rådande förhållandena. Grekiskans *episteme* betyder just kunskap. Poängen med att betala för och genomföra en geoteknisk undersökning är just att minska den epistemiska osäkerheten om den undersökta egenskapen. I teorin kan epistemisk osäkerhet elimineras helt genom undersökningar, om dessa är oändligt många och oändligt noggranna.

Inom undermarksbyggande är ju det mesta av byggmaterialet, d.v.s. berget och jorden, befintligt i planeringsstadiet, så i stort sett all geotekniska osäkerhet som ligger till grund både för projektets ekonomiska och tekniska risk kan kategoriseras som epistemisk osäkerhet. Notera dock att det i undermarksprojekt finns ett stort antal andra osäkerheter som inte är geotekniska till sin natur. Exempel på detta är osäkerhet kring yrkesarbetarnas tidsåtgång för att installera bergförstärkning i en typisk miljö, yrkesarbetarnas löneutveckling över tid, dieselprisets variation på världsmarknaden, eller tillgången på cement i landet i händelse av att producenten får avslag på ansökan om täktillstånd. Dessa osäkerheter är ofta aleatoriska.

Som kontrast till föregående stycke vill vi särskilt framhäva att medan bergbyggarens största risker främst härrör från epistemiska osäkerheter om de faktiska markförhållandena, så är stål- och betongbyggarens risker främst sprungna ur aleatoriska osäkerheter kring byggmaterialets tillverkningsprocesser. Eftersom vi idag har bra kontroll på dessa tillverkningsprocesser, är stål- och betongbyggarens aleatoriska osäkerheter betydligt mindre än bergbyggarens epistemiska osäkerheter.

3.3.2 Vad påverkar storleken på den epistemiska osäkerheten?

Geotekniska bedömningsgrunder för rättvis riskdelning mellan beställare och entreprenör rör i normalfallet epistemiska osäkerheter. Huvuddelen av osäkerheten kan påverkas av omfattningen på utförda geotekniska undersökningar, så att ju mer omfattande och noggranna undersökningar som utförs, desto mindre blir osäkerheten om den undersökta parametern. En utmaning vid undermarksbyggande utgörs av att detaljerade förundersökningar sällan låter sig utföras, på grund av ekonomiska och praktiska skäl. För långa eller djupt liggande tunnlar och bergrum skulle kostnaderna för omfattande geotekniska undersökningar kunna bli oproportionerligt stora, om de ens låter sig göras på grund av tekniska begränsningar, såsom maximal längd på borrhål eller storleken på upptagna provkroppar. Vissa geotekniska egenskaper och markförhållanden kan dessutom vara tekniskt svåra att uppmäta exakt på grund av mätmetodernas inneboende mätfel. I sådana fall när mätdata är bristfällig eller saknas, kan man behöva bedöma en geoteknisk egenskaps variation i marken baserat på experters kunskaper och erfarenhet från tidigare liknande projekt.

3.3.3 Effekten av geoteknisk osäkerhet på utformning och utförande

De rådande osäkerheterna om markförhållandena påverkar naturligtvis konstruktionens tekniska utformning, där tillräcklig säkerhetsmarginal måste tas till för att brott i konstruktionen ska uppträda med tillräckligt liten sannolikhet under livslängden. Samma resonemang om säkerhetsmarginaler gäller förstås även krav på tillåten miljöpåverkan och konstruktionens användbarhet efter färdigställandet (bruksgränser). För detta syfte finns ofta standarder framtagna: för de flesta geotekniska konstruktioner gäller i Sverige de så kallade Eurokoderna (Boverket 2011; Transportstyrelsen 2018), men för just tunnlar och bergrum har man i dagsläget (år 2022) att följa Plan- och byggförordningens krav på byggnadsverk om tillräcklig bärförmåga, stadga och beständighet. Detta eftersom Eurokoderna för närvarande inte är anpassade för svenskt bergbyggande. Då Plan- och byggförordningen inte är särskilt detaljerad har Trafikverket tagit fram egna riktlinjer för dimensionering av undermarkskonstruktioner (Trafikverket 2019). Dessa riktlinjer beaktar dock geotekniska osäkerheter i syfte att uppfylla konstruktionens säkerhetskrav, inte för att reglera ekonomisk risk mellan projektets parter.

Effekten av geoteknisk osäkerhet på parternas ekonomiska risk behöver därför hanteras separat. Ett visst geotekniskt förhållande kan ju vara fullt byggbart och medge en tillräckligt säker konstruktion i slutändan, men samtidigt ge upphov till stora kostnadsökningar eller förseningar, som måste hänföras till endera projektparten. I vissa fall behöver man också beakta olika geotekniska parametrar vid dimensionering jämfört med kostnadsbedömningar.

Från ett kontraktuellt perspektiv behöver geotekniska osäkerheter hanteras med avseende på två aspekter. Den ena är att i förfrågningsunderlaget så långt som möjligt tillse att konstruktionens utformning är anpassad efter de möjliga markförhållandena, så att inkomna anbud är väl avpassade efter hur konstruktionen ska byggas när olika markförhållanden uppträder under bygget. Den andra aspekten är att beskriva osäkerheterna om markförhållandena realistiskt, så att både beställare och entreprenör kan ta informerade beslut kring det egna risktagandet i projektet.

För den första aspekten kan enligt Essex (1997) viss luddighet i beskrivningarna accepteras, så länge som konstruktionen går att bygga i de markförhållanden som kan tänkas uppträda. Den andra aspekten kräver dock alltid stor tydlighet och exakthet i beskrivningarna. Det är i detta syfte som geotekniska bedömningsgrunder används för att underlätta en rättvis riskdelning och minska sannolikheten för tvist. Stille (2017) poängterar att bedömningsgrunderna för ett givet projekt kan behöva vara olika utformade beroende på entreprenadform. Det beror på att de osäkerheterna om markförhållandena kontraktuellt ska hanteras på olika sätt i de olika fallen. I utförandentreprenader behöver bedömningsgrunderna kunna hantera fall där föreskriven metod inte fungerar (lika effektivt) som avsett. I totalentreprenader behöver bedömningsgrunderna istället reglera inom vilken variation på markförhållanden som entreprenörens utförandemetod förväntas fungera.

3.4 Vad är en geoteknisk bedömningsgrund?

En geoteknisk bedömningsgrund ska omvandla fakta och bedömningar om markförhållandena till precisa, explicita påståenden. Essex (1997) anger följande exempel på aspekter som kan behöva täckas in av bedömningsgrunderna:

- Uppskattade uttagsvolymen och deras fördelning i olika typer av geologiska miljöer längs tunnelns sträckning
- Beskrivning av det intakta berget, inklusive hållfasthet, hydraulisk konduktivitet, mineralogi och kornstorlek
- Beskrivning av bergmassan som helhet, inklusive hållfasthet, hydraulisk konduktivitet och bergkvalitet
- Potentiella och kända förkastningar och svaghetszoner
- Andra geotekniska, eller mänskligt orsakade, möjliga svårigheter eller faror som kan påverka byggprocessen, exempelvis blockighet i jord, låg bergtäckning, gaser eller förorenad mark.

- Grundvattennivåer och andra relevanta grundvattenförhållanden, inklusive bedömningar av förväntat behov av pumpning
- Markens förväntade beteende och grundvattenpåverkan för vald metod av tunneldrivning och installation av förstärkning
- Påverkan på konstruktioner och verksamheter i omgivningen

De geotekniska bedömningsgrunderna ska i första hand uttryckas i kvantitativa termer som enkelt kan mätas och verifieras under byggtiden. När en fråga uppkommer om de faktiska markförhållandena ligger inom kontraktets ramar ska bedömningsgrunderna avgöra detta binärt, som ett ja eller nej. Beskrivande adjektiv och adverb (som ”hög”, ”omfattande”, ”ofta förekommande”) hör därför inte hemma i en geoteknisk bedömningsgrund, såvida inte begreppet tydligt definierats i en ordlista.

Sammantaget kan alla geotekniska bedömningsgrunder i ett projekt ses som en kontraktuell motsvarighet till dimensioneringsarbetets geomodell (eng. ”ground model”) (Davis 2021), men där ramarna som ges av de geotekniska bedömningsgrunderna inte behöver vara en representation av troliga förhållanden. Bedömningsgrunderna tillåter istället beställaren att flytta gränserna för risktagandet fritt, utan att behöva begränsas av vad som är en realistisk uppfattning av de verkliga markförhållandena. Hur en beställare kan resonera kring det egna risktagandet diskuteras i detalj i avsnitt 3.6.

Eftersom angivna gränsvärden i geotekniska bedömningsgrunder kan ligga långt från de troliga förhållandena ska sådana gränsvärden aldrig användas som grund vid dimensioneringsarbete. Däremot behöver en beställare förstås tänka på att framtaget designkoncept från dimensioneringsarbetet ska fungera även under osannolika förhållanden, och inte bara de troliga. Detta görs vid undermarksbyggande lämpligen genom att använda observationsmetoden; se exempelvis Tidlund (2021) som diskuterar hur observationsmetoden kan användas som riskhanteringsverktyg vid byggande både över och under mark.

En geoteknisk bedömningsgrund skapas av minst tre komponenter (Essex 1997, Dwyre et al. 2010):

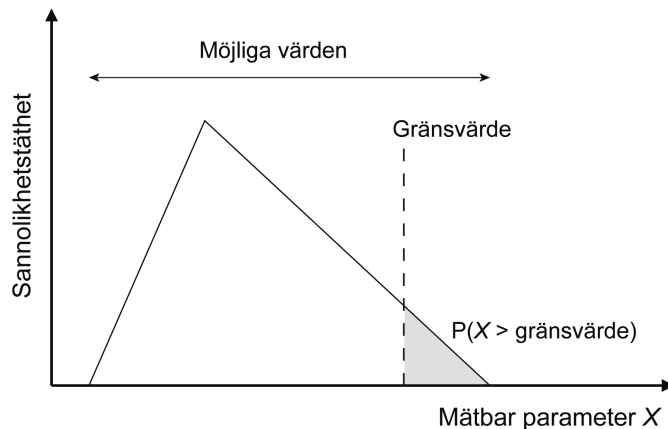
1. Identifiering av en osäker geoteknisk faktor, som kan förväntas påverka kostnaden och/eller tidsåtgången för projektet. En parameter fastställs, som är kopplad till den osäkra faktorn och som är mätbar i fält under byggtiden. Om den geotekniska faktorn i sig är enkelt observerbar i fält kan faktorn själv utgöra parametern.

2. En skattning av parameterens möjliga värden, det vill säga spannet mellan de mest pessimistiska och optimistiska förhållandena
3. Ett gränsvärde fastställt av beställaren, där gränsvärdet avgör vilka utfall hos den osäkra parameter som entreprenören har att hantera inom ramen för sitt anbud och vilka värden som ligger utanför kontraktet (och därför föranleder extra kompensation om de skulle uppträda *och* faktiskt orsaka entreprenören extra kostnader). Beställaren fastställer också vilken mätmetod som ska användas för att avgöra om gränsvärdet överskridits.

För att ge en beslutsfattare komplett information om den relaterade risken bör dock ytterligare en komponent på bedömningsgrunden skattas, nämligen:

4. Skattning av sannolikheten för att de olika möjliga värdena hos parameter uppträder

Med hjälp av en skattad sannolikhetsfördelning (t.ex. en normalfördelning eller triangulär fördelning) och ett åsatt gränsvärde kan man beräkna sannolikheten för att gränsvärdet överskrids. Konceptet visas i Figur 6.



Figur 6. Skattad sannolikhetsfördelning mellan dess möjliga värden och valt gränsvärde för mätbara parameter X , som här antas följa en triangulärfördelning. Sannolikheten för att gränsvärdet överskrids är den skuggade areans andel av hela fördelningens area.

3.5 När kan geotekniska bedömningsgrunder användas?

Geotekniska bedömningsgrunder är särskilt viktiga i totalentreprenader med fast pris, då de avgör när priset i anbudet ska gälla och när entreprenören kan få extra ersättning för svåra markförhållanden. Men geotekniska bedömningsgrunder bör även kunna vara ett bra verktyg för utförandeentreprenader, vid både mängdkontrakt och löpande räkning. Geotekniska bedömningsgrunder bör exempelvis kunna användas för att styra när en å-prislista får förhandlas om. Man kan också tänka sig ett upplägg där beställaren begärt in olika å-prislistor för olika markförhållanden och bedömningsgrunden avgör vilken lista som ska användas i det aktuella tunnelavsnittet. En geoteknisk bedömningsgrund skulle även kunna sättas för att avgöra när ett riktpolis kan höjas i arbeten på löpande räkning. Det handlar då om att identifiera geotekniska problem som ger faktisk påverkan på produktionens effektivitet. Om de geotekniska förhållandena avviker från vad som beskrivits i kontraktet, men ändå inte ger någon påverkan på entreprenörens arbeten, föreligger inte skäl till extra ersättning.

3.6 Beställarens val av bedömningsgrund

3.6.1 Valet av parameter

Att som beställare välja en lämplig parameter att ha som bedömningsgrund för riskdelning kan ofta vara tekniskt svårt. Först måste man identifiera vilka bakomliggande geologiska eller geotekniska faktorer som kan komma att påverka byggandet negativt, givet den designlösning som valts för konstruktionen. Utifrån denna förståelse väljer man sedan ut mätbara eller på annat sätt observerbara parametrar som kan utgöra indikatorer på att de faktiska förhållandena är orimligt ogynnsamma. Det är troligt att olika bedömningsgrunder kommer att behöva användas för olika aktiviteter i en produktionscykel, så att man reglerar exempelvis injekteringsarbeten och förstärkning på olika sätt. Detta för att en viss bergmassas egenskaper kan påverka tidsåtgång och kostnader olika mycket för olika aktiviteter. Att då använda en sammanfattande parameter som exempelvis "bergklass" som bedömningsgrund för alla aktiviteter kan göra riskdelningen orättvis. Parametern ska dock ha sin grund i markförhållandena, inte i sådant som kan påverkas av mänskliga faktorer (Hatem 1998). "Framdrift" är därför inte en bra parameter, då låg framdrift ju lika gärna kan bero på trasiga maskiner, ineffektiv organisation, strejk, eller annat som inte har sin grund i geologin och sådant ska ju inte vara skäl till extra kompensation från beställaren.

Om geotekniska bedömningsgrunder används i utförandeentreprenader är det särskilt viktigt att tänka på att de geotekniska förhållandena kan behöva beskrivas på olika sätt i handlingar som ligger till underlag för dimensionering, jämfört med de som ligger till underlag för produktionen. Vissa geotekniska egenskaper kan nämligen vara oviktiga

för konstruktionens säkerhet och brukbarhet ur ett dimensioneringsperspektiv, men samtidigt vara av avgörande betydelse för produktionstakten, och vice versa. Vid valet av bedömningsgrund måste man därför börja med att noggrant analysera vilka geotekniska egenskaper och beteenden som kan orsaka problem, och för vem som problemet uppstår. Först därefter är det möjligt att identifiera vilken geoteknisk parameter som bäst kan användas för att reglera kontraktets gränser.

För att avgöra vilken parameter som utgör en bra bedömningsgrund för en aktivitet i projektet, krävs en god systemförståelse av det som vi i avsnitt 2.6.4 kallade för det *kontraktuella sammanhanget*. Systemförståelse innebär här att man kan redogöra konceptuellt för hur de geotekniska osäkerheterna kan påverka målet att klara budget och tidplan för den valda designlösningen. Arbetet med att ta fram bedömningsgrunder behöver därför beaktas när förundersökningarna planeras, så att tillräcklig systemförståelse kan byggas upp.

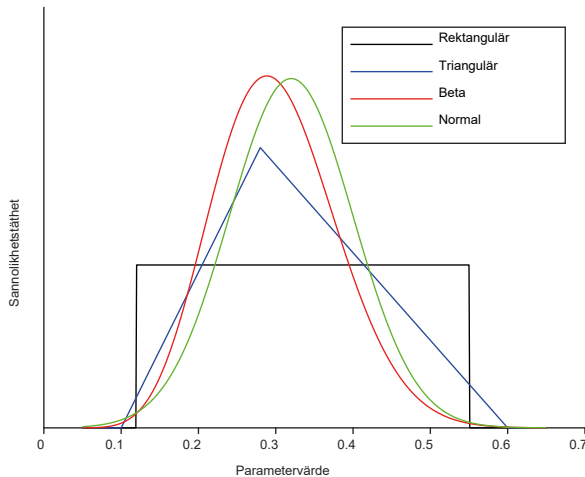
För att göra upphandlingen av undermarksprojekt enklare för både beställare och anbudsgivare, kan det vara lämpligt att branschen utvecklar en praxis för vilka parametrar som för vanligt förekommande problemställningar bäst beskriver det ekonomiska risktagandet kopplat till de geotekniska förhållandena i marken. Vår uppfattning är nämligen att det är först när både beställare och entreprenörer blivit vana att åsätta och bedöma fördelningar och gränsvärden, som man uppnår störst nytta med geotekniska bedömningsgrunder. Det är en fördel om proceduren är någorlunda standardiserad, så att man kan nyttja erfarenheter från tidigare projekt vid bedömningarna. I denna förstudie har vi därför gjort en första ansats mot användning av geotekniska bedömningsgrunder i ett förenklat exempel. Mer detaljerade utredningar behöver därför genomföras för att få fram en lämplig praxis för alla olika delar av ett tunnelbyggnadsprojekt. Olika uppsättningar parametrar kan dessutom behöva användas i olika kontraktsformat och ersättningsformer, även om själva tunnelbyggnadsaktiviteten som ska regleras är densamma.

3.6.2 Skattningen av möjliga värden och sannolikhetsfördelning

Innan ett gränsvärde kan sättas, behöver parameterns möjliga spann fastställas. Beställaren (eller dess konsult) bedömer då utifrån utförda undersökningar och egen expertkunskap vad som skulle utgöra de teoretiskt mest optimistiska och pessimistiska värdena på parametern. Om man har mycket liten kunskap om parameterns statistiska fördelning inom detta spann, kan man göra bedömningen att alla möjliga värden mellan de bedömda extremvärdena är lika troliga. Detta motsvarar en åsatt rektangulärfördelning.

Om man bedömer att någon del inom det möjliga spannet är mer troligt än övriga delar kan istället en triangulär fördelning vara lämplig. Man skattar då även ett troligaste

värde, utöver extremvärdena. Även en så kallad betafördelning eller PERT-fördelning kan vara lämplig. De liknar triangulärfördelningen genom att de har definierade största och minsta värde, men ger möjlighet att åsätta mindre vikt ges åt extremvärdena, då dessa ofta är mer osäkra än det troligaste värdet. PERT står för Program Evaluation Research Task och den fördelningen togs fram för att underlätta bedömning av tidsåtgång i projekt (Malcolm et al. 1959). PERT-fördelningen är en matematiskt lite mer komplicerad variant av betafördelningen, men har fördelen att dess parametrar ändå låter sig skattas relativt enkelt vid expertbedömningar. Därutöver kan man förstås också välja normalfördelningen, som de flesta är bekanta med. Den har dock nackdelen att den alltid är symmetrisk runt medelvärdet. Figur 7 visar några olika fördelningstyper åsatta att beskriva sannolikheten att en geoteknisk egenskap uppvisar något värde på det ungefärliga spannet 0,1–0,6. Hur sannolikheten för värden nära största och minsta möjliga värde ska beskrivas kräver ofta viss eftertanke. I figuren har vi exempelvis valt att låta den rektangulära fördelningen endast gälla för spannet 0,15–0,55. Detta kan vara rimligt för denna fördelningstyp om värden nära största och minsta värde är osannolika.



Figur 7. Exempel på fördelningar som kan åsättas för att beskriva en geoteknisk egenskaps möjliga utfall på det ungefärliga spannet 0,1 till 0,6. Vilken man väljer beror på tillgänglig kunskap om egenskapens troliga utfall och hur enkelt det är att åsätta fördelningens parametrar (exempelvis medelvärde och standardavvikelse).

För utbredning av olika typmiljöer längs tunnelsträckan (exempelvis andel av tunneln som faller i en viss bergklass), kan en så kallad Dirichlet-fördelning vara lämplig. En sådan fördelning kan beskriva osäkerheter i just *andelens storlek*, när man vet att summan av alla andelar är 100%. Eftersom denna fördelning är ovanlig, ges en introduktion i texttrutan på nästa sida. Denna fördelning används också i beräkningsexemplet i kapitel 4, där simuleringsresultat också visas.

Om omfattande kunskap finns om parameterns spridning från utföra undersökningar, kan man förstås använda en fördelningstyp som efterliknar formen på den tillgängliga mätdatan (i ett histogram), eller till och med helt anpassa en fördelning efter tillgänglig mätdatan. Ifall den tillgängliga mätdatan är begränsad i sin omfattning bör man dock inte sätta extremvärdena vid största och minsta uppmätta värde, eftersom mätvärden nära extremvärdena i de flesta fall är sällsynta och därför kanske inte uppmätts i de utförda undersökningarna. Vi vill här särskilt poängtera att ju bättre kunskap man har om markförhållandena på platsen, desto bättre kan den ekonomiska risken bedömas och tydligt fördelas mellan parterna, men det är förstås inte alltid tekniskt möjligt eller ekonomiskt rimligt att utföra stora mängder undersökningar.

3.6.3 Valet av gränsvärde

Det är viktigt att förstå att beställarens val av gränsvärde för en geoteknisk bedömningsgrund inte kan göras objektivt enbart utifrån utförda geotekniska undersökningar. Gränsvärdet behöver heller inte representera vad som är troliga förhållanden i marken utifrån utförda undersökningar. I stället är det beställarens egen riskhanteringsstrategi som ska avgöra gränsvärdets placering.

Ju närmare de bedömt mest optimistiska (gynnsamma) markförhållandena som gränsvärdet sätts, desto lägre pris kan beställaren förvänta sig i anbudet. Samtidigt ökar det sannolikheten att gränsvärdet överskrids, vilket innebär att beställaren med större sannolikhet kommer att behöva betala ut extra kompensation för ogynnsamma markförhållanden som inte ingick i kontraktet. Beställaren tar i detta fall en större del av den ekonomiska risken kopplat till osäkerheten om markförhållandena. Essex (1997) noterar här att om det satta gränsvärdet lett till att entreprenören valt en mindre robust byggmetod som inte klarar markförhållanden över gränsvärdet, så kan kompensationskraven potentiellt bli mycket stora.

Om beställaren i stället väljer ett gränsvärde närmare de mest pessimistiska markförhållandena, kan beställaren förvänta sig ett högre pris i anbudet, eftersom entreprenören då behöver kunna hantera även svårare markförhållanden inom ramen för

Dirichlet-fördelade typgeologier längs tunnelsträcka

En utmaning när man beskriver osäkerheten i typgeologiers utbredning längs tunnelsträckningen, är att även om respektive typgeologis andel är stokastisk, så är totalsträckan är känd. Det betyder att om det i det verkliga utfallet råkar bli lite mer än väntat av en typgeologi, måste någon annan finnas i mindre omfattning. Inom sannolikhetsläran är denna frågeställning inte ny, utan är en direkt motsvarighet till ett klassiskt problem där en tråd av längden 1.0 ska klippas i K antal bitar av olika förbestämda storlekar, men där det finns en osäkerhet i exakt var saxen klipper.

Lösningen kallas för Dirichlet-fördelning, namngiven efter den tyske matematikern Gustav Lejeune Dirichlet (1805–1859). Fördelningen kallas även för multivariat betafördelning, eftersom den är en generalisering av den endimensionella vanliga betafördelningen. Dirichlet-fördelningen har följande egenskaper.



Public domain

Låt vektorn $\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_K]$ av stokastiska andelar av olika typgeologier (avklippta trådlängder) vara Dirichlet-fördelad enligt $\text{Dir}(\boldsymbol{\alpha})$, med parametrarna $\boldsymbol{\alpha} = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K]$, d.v.s. en för varje X_i . Vi vet att

$$\sum_{i=1}^K X_i = 1.$$

Låt α_0 vara summan av parametrarna, enligt

$$\alpha_0 = \sum_{i=1}^K \alpha_i.$$

Väntevärdet och variansen på respektive längd av en viss typgeologi, som andel av totallängden, blir då:

$$E(X_i) = \frac{\alpha_i}{\alpha_0} \quad \text{och} \quad \text{Var}(X_i) = \frac{\alpha_i(\alpha_0 - \alpha_i)}{\alpha_0^2(\alpha_0 + 1)}.$$

Effekten av detta blir att ju större värde som åsätts parametrarna α_i (och därmed deras summa α_0), desto mindre blir variansen. Parametrarna α_i kan beräknas utifrån utförda undersökningar. Marginalfördelningen för respektive X_i är betafördelad med $\text{Beta}(\alpha_i, \alpha_0 - \alpha_i)$.

kontraktet. Samtidigt blir sannolikheten mindre att förhållandena ska vara sämre än gränsvärdet, så beställaren kan då – åtminstone i teorin – förvänta sig färre och mindre omfattande krav om extra kompensation under byggtiden. Beställaren betalar då genom det högre anbudspriset entreprenören för att åta sig större risk. Notera att denna prisökning i så fall betalas av beställaren, oavsett om de faktiska markförhållandena var ogynnsamma eller ej. Resonemanget om färre och mindre kompensationskrav bygger förstås på att entreprenören själv har gjort en korrekt analys av det egna risktagandet, så att hen faktiskt i sitt anbud har tagit höjd för de ökade kostnader som kan kopplas till svårare markförhållanden. Annars kan det finnas incitament att försöka få igenom kompensationskrav, trots att dessa egentligen borde ha ingått i det ursprungliga anbudet.

Beställaren har alltså genom sitt val av gränsvärden en möjlighet att växla senare kompensationskrav från entreprenören, mot ett högre anbudspris. Detta innebär att det är beställaren själv som behöver fatta ett informerat beslut om gränsvärdena. (En beställare som sällan bygger tunnlar kan förstås låta en konsult ge råd om hur olika val av gränsvärden kan komma att påverka priset i anbud och sannolikheten för extra kompensationskrav från entreprenören.) Valda gränsvärden ska passa beställarens preferenser kring risktagande. Framtagandet av dels vilka parametrar som ska utgöra bedömningsgrunderna, dels formuleringarna i texten som i kontraktet ska reglera riskdelningen, kan utföras antingen av beställaren själv eller av beställarens konsult. Essex (1997) understryker att en intern eller extern granskning av de geotekniska bedömningsgrunderna är viktig för att få bort tvetydigheter innan bedömningsgrunderna redovisas för anbudsgivare: bedömningsgrunderna kommer att utsättas för mycket noggrann granskning, tolkning och eventuellt till och med medvetet utnyttjas från entreprenadbolagens sida i deras arbete med anbud och utförande, särskilt om markförhållandena visar sig vara ogynnsamma när tunneln väl byggs.

3.6.4 Presentation av bedömningsgrunden i förfrågningsunderlag

Även om det inte är strikt nödvändigt, kan det finnas fördelar för beställaren att tillgängliggöra inte bara gränsvärdet, utan även den egna bedömningen av parameterns spann och eventuell sannolikhetsfördelning i förfrågningsunderlaget, tillsammans med eventuell mätdata som ligger till grund för bedömningen. Detta förfaringssätt är i linje med rekommendationerna i FIDIC's (2019) Emerald book, vilket diskuteras vidare av Gomes (2020). Förfaringssättet ger anbudsgivaren ett mer omfattande beslutsunderlag, vilket bör göra det enklare att göra en korrekt bedömning av den egna risken. Det bör bidra till en rättvisare prissättning och färre tvister, eftersom det minskar risken kopplad till att ett entreprenadbolag på grund av feltolkning av markförhållandena lämnar ett orimligt lågt anbud. Även Hatem (1998) rekommenderar att beställaren är tydlig med hur satta gränsvärden relaterar till faktiska mätdata – och huruvida sådana mätdata ens

existerar! – särskilt ifall gränsvärdet är åsatt på subjektiva grunder långt ifrån vad som är troliga markförhållanden, som ett uttryck för låg egen risktolerans hos beställaren.

Med det sagt, är det viktigt att vara medveten om de potentiella nackdelar som kan finnas med att som beställare öppet redovisa hela den egna bedömningen av sannolikheter. Ifall mängden objektiva mätdata är begränsad kan en redovisad sannolikhetsfördelning ge intryck av att man gjort en mycket rigorös analys, trots att fördelningen kanske inte är mer än en intern experts egen erfarenhetsbaserade bedömning. Särskilt avseende svårbedömda risker (ofta med små sannolikheter), är det inte nödvändigtvis så att en hart när gissad sannolikhetsciffrer ger ett mervärde till entreprenören, jämfört med en kvalitativ bedömning med ord, exempelvis ”osannolik”. En redovisad sannolikhetsfördelning kan också ge en psykologisk ankringseffekt på entreprenörens riskbedömning. (Om beställaren har betydligt bättre kompetens än entreprenören, kan det förstås vara i beställarens intresse att åstadkomma just detta.)

Essex (2014) ger ett antal tips för att undvika vanliga fällor. Man bör i förväg begränsa antalet tillåtna sidor i rapporten för geotekniska bedömningsgrunder. Det är lätt att förlora sig i oviktiga detaljer och diskussioner om geologiska spetsfundigheter, som bara bidrar till vaghet; bedömningsgrunderna ska vara tydliga, koncisa och överensstämmande med övriga kontraktsdokument. Blir bedömningsgrunden mycket tekniskt detaljerad, ska de tekniska detaljerna kanske snarare finnas i något annat dokument. Essex (2014) menar vidare att man inte bör sammanfatta eller omformulera skrivningar som finns i andra kontraktsdokument även om de har relevans för bedömningsgrunden, utan istället i bedömningsgrunden hänvisa till ursprungsdokumentet. Annars uppstår lätt olika formuleringar om samma sak på olika ställen i kontraktet, vilket är en grogrund för senare tvist. I Sverige har i för sig kontraktshandlingar fått olika rangordning, vilket minskar just denna problematik. Utförda undersökningar som ligger till grund för bedömningsgrunderna kan gärna presenteras i figurer, exempelvis histogram, istället för i tabeller som redovisar varje mätvärde, enligt Essex (2014).

3.7 Anbudsgivarens tolkning av bedömningsgrunden

Ett entreprenadbolag som avser lämna anbud på ett projekt där geotekniska bedömningsgrunder används, behöver göra en egen riskbedömning av hur man ställer sig till beställarens åsatta gränsvärden. Det som anbudsgivaren behöver ta ställning till är hur stor man själv bedömer att sannolikheten är för att de verkliga markförhållandena ligger inom eller utanför gränsvärdet. Denna bedömning kan, men behöver inte, sammanfalla med beställarens redovisade bedömning av sannolikheten. Anbudsgivaren har alltså möjlighet att själv tolka utförda geotekniska undersökningar och eventuellt utföra egna kompletterande utredningar, samt göra egna expertbedömningar av vad som är möjliga och mest troliga förhållanden i marken.

Om en anbudsgivare bedömer att förhållandena i verkligheten med större sannolikhet är gynnsamma än vad beställaren indikerat i förfrågningsunderlaget, så skapas ett utrymme för större beräknad vinst för entreprenadbolaget för ett givet pris. Utrymmet kan förstås också användas till att lägga ett billigare, mer konkurrenskraftigt anbud.

Om anbudsgivaren i stället bedömer att det är större sannolikhet att ogynnsamma förhållanden ska uppträda, än vad beställaren bedömt, behöver anbudsgivaren se till att den egna organisationen kan hantera dessa svårare förhållanden kostnadseffektivt – givet, förstås, att beställaren valt att sätta gränsvärdet nära de mest ogynnsamma förhållandena, så att entreprenadbolaget förväntas ta den risken.

Om beställaren istället valt att ta den ekonomiska risken kopplad dessa ogynnsamma förhållanden, genom att sätta gränsvärdet närmare de gynnsamma förhållandena, så räknar entreprenören i sitt anbud på förhållandena som ligger under gränsvärdet, men förbereder sig själv på att mer sannolikt behöva kräva kompensation för markförhållanden som ligger utanför kontraktet. För att ha rätt till kompensation måste entreprenören i så fall också kunna visa att markförhållandena faktiskt gett upphov till kostnader som inte skulle ha uppkommit ifall man legat under gränsvärdet, samt att man i övrigt utfört arbetena på ett fackmässigt sätt.

3.8 Riskmedveten arbetsgång för hantering av ekonomiska risker

Arbetsgången i riskhanteringscykeln i ISO 31000 (Figur 1) är generell. Det betyder att den är tillämpbar på egentligen alla målfokuserade processer där man har att på något sätt hantera osäkerheter. I kapitel 2 beskrevs hur man kan använda arbetsgången för att hantera risker vid val av affärsform i undermarksprojekt. I det följande visar vi hur man använder arbetsgången för att hantera risker i just valet av geoteknisk bedömningsgrund och tillhörande gränsvärden. I rapporten av Spross et al. (2015) visas hur riskhanteringen sker iterativt och för varje varv blir alltmer fokuserad på tekniska detaljer, när projektet går från idéfas till projektering och utförande. Samma princip gäller även här.

3.8.1 Beställarens val av parametrar utifrån kontraktuellt sammanhang

För att ha något att arbeta utifrån i den kommande riskbedömningen, behöver man ta fram ett första utkast på hur uppkomna kostnader ska regleras mellan beställare och entreprenör. Detta kräver en fördjupad systemförståelse av det kontraktuella sammanhanget, där man i ett första skede bara analyserat övergripande vilken entreprenad- och ersättningsform som passar projektet bäst. Exempelvis kan denna första riskhanteringscykel resultera i beslutet att gå vidare med en totalentreprenad, där geotekniska bedömningsgrunder ska användas för riskdelning mellan parterna. Precis som den

tekniska designlösningen i ett projekt förfinas från idéstadium till detaljprojektering, behöver även de kontraktuella frågorna med tiden lösas i allt djupare detalj.

I arbetet med det mer detaljerade kontraktuella sammanhanget ingår att ge preliminära förslag på vilka geotekniska bedömningsgrunder som kan användas och vilka observerbara parametrar som kan vara lämpliga att åsätta gränsvärden för. (I rapporten av Olsson et al. (2019) motsvaras detta av ett tekniskt designarbete där geokonstruktören överväger möjliga tekniska lösningar för en konstruktion på en viss plats.) Preliminära gränsvärden bör också sättas i detta läge. Detta kan initialt göras grovt, utifrån beställarens principiella inställning till risktagande: vill beställaren för respektive parameter hänskjuta en större eller mindre del av den ekonomiska risken till entreprenören i kontraktet? Eventuell ändring av gränsvärdena kan ses som en riskhanteringsåtgärd.

3.8.2 Identifiering av risker kopplade till bedömningsgrunderna

När man tagit fram ett första förslag på vilka geotekniska bedömningsgrunder (mätbara parametrar) och tillhörande gränsvärden, påbörjas riskidentifieringen. Denna riskidentifiering avser specifikt att hitta de juridiska problem och oväntade ekonomiska konsekvenser som kan uppstå, om man använder de föreslagna geotekniska bedömningsgrunderna i projektet. Principer för och tips på hur riskidentifieringsarbete i praktiken kan utföras ges av bland annat SGF (2014) och diskuteras inte ytterligare här.

3.8.3 Analys av identifierade risker

För varje identifierad risk behöver man sedan göra en mer utförlig analys av exakt hur den valda geotekniska bedömningsgrunden kan leda till oönskade konsekvenser i regleringen av möjliga kostnader i projektet. Detta brukar kallas riskens händelsekedja. För att senare kunna avgöra om det är relevant att göra någonting åt problemet, ska man också bedöma hur sannolikt det är att den oönskade konsekvensen uppstår, samt storleken på den ekonomiska kostnaden som konsekvensen medför. I praktiken görs här bedömningar av parametrarnas möjliga värden och dess sannolikhetsfördelning över dessa värden, samt hur det preliminära gränsvärdet förhåller sig i relation till denna sannolikhetsfördelning. Även den exakta formuleringen av bedömningsgrunden analyseras, för att se ifall den på något sätt kan misstolkas och därmed ligga till grund för tvist. Dessa analyser är omfattande och komplexa och betydelsen av att göra detta noggrant ska inte underskattas. Stora ekonomiska värden hänger på utfallet av analysen.

3.8.4 Riskvärdering och riskhanteringsåtgärd

Efter utförd analys ska beslut fattas om valda bedömningsgrunder och gränsvärden fördelar de möjliga kostnaderna i projektet på ett för beställaren acceptabelt sätt. Om inte, behöver bedömningsgrundernas beskrivning och/eller gränsvärdenas nivåer juste-

ras. Därefter utförs en ny riskidentifiering och riskanalys, för att se om ändringarna har infört några nya risker eller ändrat storleken på någon tidigare identifierad risk. Sedan görs en ny utvärdering av det reviderade förslaget, som antingen accepteras eller revideras igen. Troligen behöver bedömningsgrunderna finslipas flera gånger och det är lämpligt att interngranska dem noggrant innan de fastslås slutgiltigt i förfrågningsunderlaget.

4 TILLÄMPNING I ETT PRAKTISKT FALL

4.1 Introduktion

För att illustrera hur geotekniska bedömningsgrunder kan användas i ett praktiskt fall har vi i detta kapitel tagit fram ett förenklat beräkningsexempel, där vi redogör för och diskuterar hur en beställare och en entreprenör principiellt kan resonera kring det egna ekonomiska risktagandet i ett undermarksprojekt. De geologiska förhållandena och föreslagen förstärkning är inspirerade av ett verkligt tunnelprojekt i Uri, Indien, där ett vattenkraftverk anlades på 1990-talet. Ytterligare detaljer från projektet hittas i Heiner et al. (1993), Brantmark (1998) och Mohammadi (2021). Vi har i detta exempel valt att lyfta fram möjligheterna med att använda Dirichlet-fördelningen för att beskriva osäkerhet om de geologiska förhållandena längs en tunnelsträcka.

4.2 Beräkningsexempel

4.2.1 Förutsättningar

En 10 km lång tilloppstunnel för ett vattenkraftverk ska drivas genom en metamorf bergmassa av skifferartad karaktär med skjuvzoner och mindre förkastningar. Beställaren har låtit utföra en geoteknisk undersökning av förhållandena med hjälp av borrhål från markytan, dock i relativt begränsad omfattning. Beställaren ser av resultatet att bergmassan förväntas variera mellan mycket bra till dåligt. Den sämsta bergkvaliteten förväntas i förekommande förkastningar och svaghetszoner, som dock är av delvis oklar art och omfattning. Beställaren identifierar tre olika typförhållanden som med stor sannolikhet kommer att uppträda längs den planerade tunnelsträckningen. Dessa redovisas som Bergklass A-C i Tabell 2. Därutöver kan ännu sämre berg eventuellt uppträda (Bergklass D), även om tecken på detta inte observerats i förundersökningarna.

Beställaren gör bedömningen att en utförandeentreprenad med mängdkontrakt enligt åprislista är den gynnsammaste entreprenad- och ersättningsformen. Detta val diskuteras inte vidare här. Beställaren behöver nu förbereda rapporten för den geotekniska bedömningsgrunden inför upphandlingen. Vi redogör nedan för hur de olika aspekterna på beställarens val av bedömningsgrunder (avsnitt 3.6) kan förstås i ett typiskt tunnelbyggnadsprojekt.

4.2.2 Valet av parameter till geoteknisk bedömningsgrund

För att avgöra vilken bergklass som råder på en aktuell sträcka och vilken tillhörande förstärkning som ska installeras, anser beställaren att kontinuerlig kartering av RMR-värde för varje salva är en lämplig parameter. RMR-värdet uppfyller kriteriet att vara

observerbart och korrelerar väl mot entreprenörens tidsåtgång, kostnader, samt förväntade intäkter, för att installera lämplig förstärkning. (En svaghet med RMR är den grad av subjektivitet som kan påverka dess bestämning; se vidare diskussion i kapitel 5.) Det är beställaren som kommer att utföra karteringen.

4.2.3 Möjliga värden och val av fördelningstyp

Karteringen av borrhärdor från förundersökningen ger att bergklasserna får följande skattade andelar $\mathbf{p} = [p_A, p_B, p_C, p_D]$ av tunnelsträckan:

- A: 30%
- B: 50%
- C: 20%
- D: 0%

Eftersom undersökningarna var av begränsad omfattning inser beställaren att det finns en relativt stor epistemisk osäkerhet i dessa siffror. Baserat på beställarorganisationens egen erfarenhet från tidigare tunnelprojekt och i samråd med kunniga ingenjörsgaologer, gör beställaren bedömningen att andelarna för de observerade

Tabell 2. Anvisad förstärkning för olika möjliga bergklasser längs tunneln.

Berg-klass	RMR	Förväntade egenskaper	Föreskriven initialförstärkning	Betong-inklädning
A	≥ 61	Massivt eller blockigt berg av kompetent, hård bergmassa, delvis folierad.	Tak: Bultar $L = 3$ m ($1/12$ m ²), Sprutbetong $t = 3$ cm. Vägg: Ingen	$t = 25$ cm
B	41–60	Sprucken eller tunt folierad kompetent hård bergmassa.	Tak: Bultar $L = 3$ m ($1/6$ m ²), Sprutbetong $t = 3$ –6 cm. Vägg: Punktvis bultning	$t = 25$ cm
C	21–40	Sprucken eller tunt folierad bergmassa av låg eller medel hållfasthet.	Tak: Bultar $L = 3$ m ($1/4$ m ²), Sprutbetong $t = 10$ cm, stål-fiberarmerad. Vägg: Bultar $L = 4$ m ($1/9$ m ²), Sprutbetong $t = 5$ cm.	$t = 45$ cm
D	≤ 20	Krossat och uppsprucket vittrat berg med inslag av lera.	Modifierad drivningsteknik med galleri och pall, eventuellt multiple drift. Vid riktigt låg bergkvalitet kan även frysning krävas. Design ej specificerad i detalj.	

bergklasserna A–C mycket väl skulle kunna variera ± 20 procentenheter mellan minsta och största möjliga värde. Bergklass D tros kunna förekomma till en omfattning upp till 10%.

Detta motsvarar att andelarna p av bergklasserna A–D längs tunnelsträckningen kan beskrivas ungefärligt med Dirichlet-fördelningen $\mathbf{p} \sim \text{Dir}(10; 16; 7; 0,2)$. För detta exempel har fördelningsparametrarna α_i valts genom prövning tills vi fått en uppsättning vars simuleringsresultat avspeglar de rapporterade markförhållandena. Den teoretiska grunden för Dirichlet-fördelningen ges i textrutan på sidan 33. De fyra fördelningsparametrarna α_i är alltså åsatta så att de förhåller sig inbördes till sin gemensamma totalsumma $\alpha_0 = 10 + 16 + 7 + 0,2 = 33,2$, motsvarande de skattade bergklassernas andel av hela tunnelsträckningen i listan ovan (d.v.s. vi har att väntevärdet $E(p_A) = 10 / 33,2 \approx 30\%$ vilket stämmer med undersökningsresultatet). Variansen för respektive bergklass andel stämmer överens med bedömningen om ungefär ± 20 procentenheter för andelarnas möjliga värden. Varje andel p_i har betafördelningen $\text{Beta}(\alpha_i, \alpha_0 - \alpha_i)$ som sin marginalfördelning (Figur 8a).

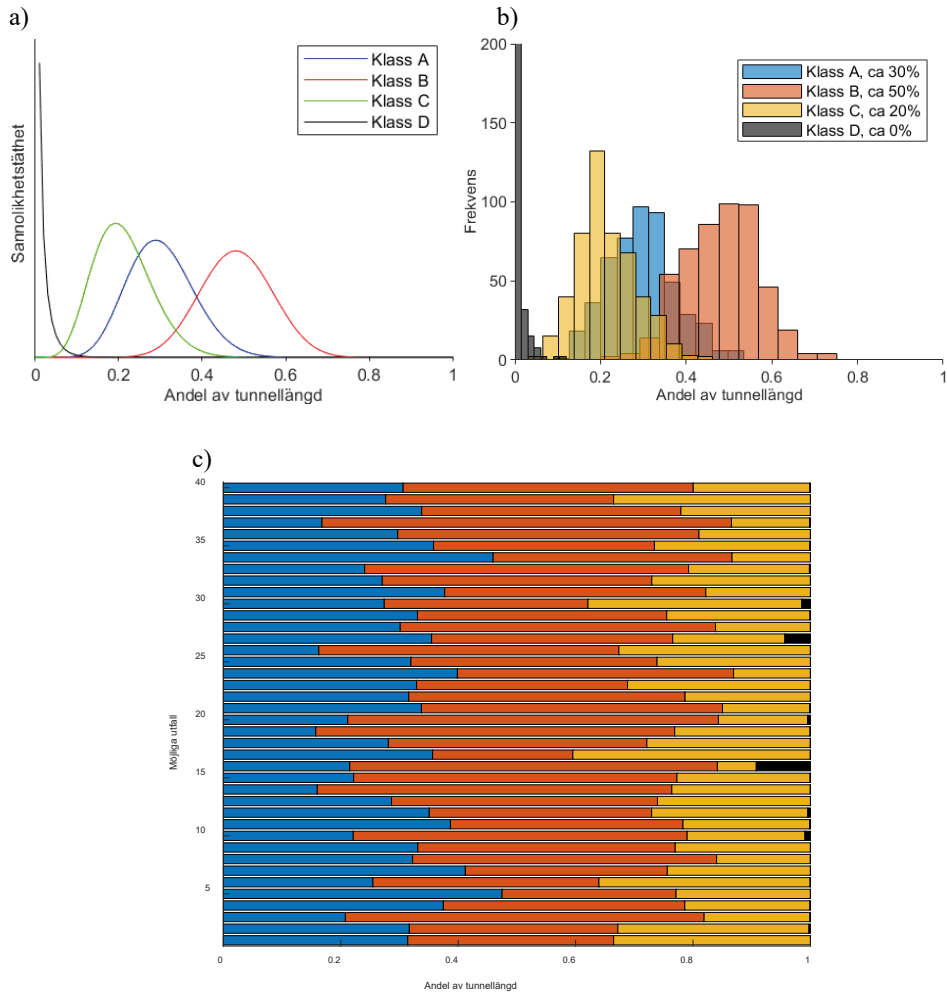
Notera att värdet på parametern för bergklass D ($\alpha_D = 0,2$) behöver sättas större än 0, för att bergklass D ska få en sannolikhet större än 0, d.v.s. antas existera över huvud taget. Hur fördelningens parametrar α_i bäst kan bestämmas i det verkliga fallet kräver dock ytterligare forskning. Det bör dock vara möjligt att göra detta genom att använda förundersökningsresultatet i en bayesiansk uppdatering.

Figur 8b visar simuleringsresultatet för 500 genererade kombinationer av andelarna p_i . Hur 40 av dessa utfall skulle bli som andelar av en tunnelsträckning visas i Figur 8c. Här ses tydligt hur Dirichlet-fördelningen kan beskriva möjlig förekomst av Bergklass D, trots att den inte observerades i förundersökningen och därför har ett bedömt väntevärde nära 0%. På grund av osäkerheten i den bedömningen får vi att andelen av klass D i vissa utfall går upp mot 10% av tunnelsträckningen.

Givet rådande osäkerheter, betyder detta att tunnelns totalkostnad teoretiskt kan beskrivas med ekvationen

$$C_{\text{tot}} = p_A C_A + p_B C_B + p_C C_C + p_D C_D \quad (1)$$

där både sannolikheterna p_i och kostnaderna C_i är stokastiska variabler. Beställaren kan med hjälp av ekvationen göra sannolikhetbaserade beräkningar av förstärkningens totalkostnad längs hela tunneln. Detaljer för hur beräkningen kan utföras ges av Isaksson & Stille (2005), Mohammadi (2021) och Mohammadi et al. (2022), och diskuteras därför inte vidare här.



Figur 8. a) Teoretiska marginalfördelningar för de Dirichlet-fördelade andelarna p_i för de fyra bergklasserna längs tunnelsträckan.

b) Utfall av 500 simulerade Dirichlet-fördelade andelar p_i , motsvarande marginalfördelningarna. Den svarta stapeln närmast 0% har medvetet kapats och är egentligen ännu högre.

c) 40 av de 500 simulerade Dirichlet-fördelade andelarna p_i presenterade som andelar av den totala tunnällängden.

4.2.4 Beställarens val av gränsvärde

Beställaren behöver nu avgöra vilka som är de geologiska ramarna för kontraktet i utförandentreprenaden. Alltså: under vilka förutsättningar ska mängdkontraktet med å-prislista tillämpas? Ju större avvikelse från de troligaste förhållandena som beställaren kräver att entreprenören åtar sig att kunna utföra inom kontraktet, desto större riskpremie kan beställaren förvänta sig att få betala. Beställaren kan alltså genom valet av gränsvärde ge viss styrning i vilka markförhållanden som entreprenören kommer att anta i anbudet.

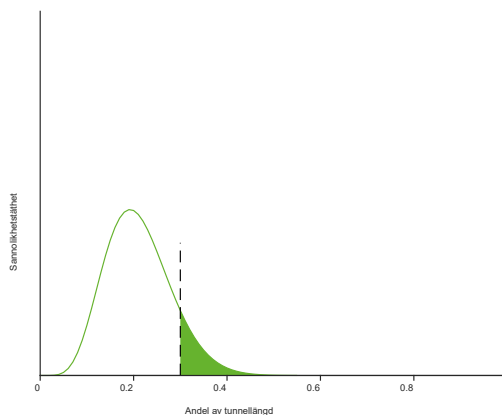
Utifrån resultatet av förundersökningarna och de bedömt möjliga variationerna i bergklassernas andelar, får beställaren analysera olika möjliga scenarier. Beställaren inser att två för entreprenören kritiska risker är kopplade till att de sämsta bergklasserna C och D visar sig förekomma i betydligt större omfattning än vad förundersökningarna indikerade. Detta eftersom entreprenören då kan behöva utöka antalet arbetsskift för att klara av tidplanen utan förseningsviten och bergklass D dessutom kräver ett betydligt mer komplicerat utförande, såsom etappvis uttag och gjutning av botten.

Beställaren finner det därför rimligt att själv åta sig en del av risken kopplad till de sämsta bergklasserna. Beställaren bedömer att en kunnig entreprenör kan klara tidplanen med hög sannolikhet utan särskilda åtgärder, så länge som bergklass C understiger 30% av den totala tunnelsträckningen. Beställaren låter därför åsätta detta som ett gränsvärde i en geoteknisk bedömningsgrund, där överskridande av gränsvärdet gör att andra å-priser gäller:

”Om bergklass C förekommer till en omfattning om mer än 30% av totala tunnelsträckningen, ska för detta förhållande fastställda å-priser tillämpas.”

Entreprenören kommer alltså i sitt anbud att ge två parallella å-prislistor för bergklass C, där den ena listan gäller för $p_C \leq 30\%$ och den andra för $p_C > 30\%$. Den senare prislistan förväntar sig beställaren ska beakta ökade kostnader för exempelvis fler arbetade timmar per dygn. Baserat på antagandena om bergklassernas möjliga variation enligt Dirichlet-fördelningen ovan, beräknar beställaren från de 500 simuleringarna i Figur 8b att detta kan inträffa med sannolikheten $P(p_C > 30\% \text{ av tunneln}) = 10\%$. Detta visas i Figur 9.

Eftersom det finns en god chans att bergklass D inte alls förekommer längs tunnelsträckningen, vill inte beställaren behöva betala en riskpremie för detta. Beställaren låter därför tunnelbyggande i bergklass D ligga helt utanför mängdkontraktet. Om bergklass D ändå skulle förekomma, ska den delen av tunneln utföras på löpande räkning och medge förlängning i tid. Den geotekniska bedömningsgrunden blir då:



Figur 9. Marginalfördelningen för p_C (ur Figur 8a). Sannolikheten att andelen av bergklass C utgör mer än 30% av tunnelsträckan beräknas till $P(p_C > 0.3) = 10\%$, motsvarande den skuggade arean. Beräkningen görs med hjälp av Monte Carlo-simuleringen som illustrerad i Figur 8b.

”Om bergklass D uppmäts, ska dess förstärkning utföras på löpande räkning och förlängning i tid ges i förhållande till dessa arbetens omfattning och deras påverkan på kritiska linjen.”

Om tiden är viktig för beställaren kan man överväga att skriva in i kontraktet att maskiner för att hantera bergklass D ska finnas tillgängliga på arbetsplatsen och införa en ersättning för detta i mängdförteckningen.

Beställaren redovisar sedan förundersökningsresultatet tillsammans med bedömningsgrunderna och den tillhörande Dirichlet-fördelningen i förfrågningsunderlaget.

4.2.5 Entreprenörens överväganden i framtagande av anbud

För att entreprenören ska kunna lämna ett korrekt pris som avspeglar det egna risktagandet, behöver en egen riskbedömning genomföras. Gör man samma bedömning av de angivna sannolikheterna utifrån de utförda undersökningarna? Kanske bedömer entreprenörens ingenjörsgeloger att de möjliga värdena på bergklassernas andelar har betydligt mindre spann än ± 20 procentenheter. I så fall blir sannolikheten att $p_C > 30\%$ mycket mindre än beställarens angivna 10% sannolikhet, vilket skulle kunna påverka vilka priser som entreprenören anger i den alternativa å-prislistan.

Entreprenören bör också reflektera över den egna organisationen och resursallokeringar relation till arbetarnas förväntade och möjliga komplexitet. Vilka troliga, men också möjliga, markförhållanden ska de sätta priserna faktiskt tåla, där priserna avspeglar exempelvis utvalda maskiner och personalens kompetens? Den geotekniska bedömningsgrunden tydliggör för entreprenören att markförhållandena kan avvika kraftigt från den ingenjörsgelogiska prognosen bedömning av de troligaste förhållandena, och ändå ligga inom kontraktets ramar.

För att klara tidplanen har den kritiska linjen avgörande betydelse. Om bergklass C uppträder i stor omfattning längs kritiska linjen, kan entreprenören planera för att omallokera resurser dit för att skynda på arbetena. En utmaning för entreprenören i det läget är att man inte vet bergklassernas sanna andelar längs tunneln förrän tunneln är klar, så i ett sådant läge är det inte nödvändigtvis känt om den alternativa å-prislistan kommer att gälla för arbetena.

Entreprenören kan också överväga att ha en egen ingenjörsgelog på plats för att kontrollera beställarens kartering. Detta eftersom RMR-värdet har ett visst mått av subjektivitet i bestämningen, samtidigt som det karterade värdet kan ha stor betydelse för entreprenörens kostnader och intäkter.

4.3 Diskussion

4.3.1 Oförutsedda händelser

I exempelberäkningen ovan är sannolikheten för att bergklass D uppträder påtaglig. Det finns därför goda skäl för beställaren att kommunicera dess möjliga existens med entreprenören, så att man slipper tvista om hur detta ska hanteras ifall bergklass D dyker upp. Man kan dock tänka sig andra fall där beställaren identifierat ett antal möjliga scenarier eller händelser, som dock bedöms vara mycket osannolika. Beställaren behöver då överväga ifall även sådana mycket osannolika händelser ska tas upp i förfrågningsunderlaget och kontraktuellt regleras. Listan på osannolika – men teoretiskt möjliga – händelser kan ju potentiellt bli mycket lång. Det är inte givet att det ligger i beställarens intresse att öppet kommunicera hela listan med oönskade händelser och deras bedömda sannolikhet, då det skulle kunna driva upp entreprenörens pålagda riskpremie eller minska viljan att alls lägga ett anbud. Geologiska förhållanden som inte kommuniceras rapporten för geotekniska bedömningsgrunder bör då rent kontraktuellt ses som icke förutsebara (eng. ”unforeseeable”). Det kan här noteras att denna princip tillämpas i FIDIC:s (2019) internationella kontraktsramverk för undermarksbyggnad.

4.3.2 Något om totalentreprenader

Totalentreprenader till fast pris är relativt ovanliga i dag i svenskt undermarksbyggande. Vi har därför inte diskuterat i detalj hur geotekniska bedömningsgrunder skulle kunna användas för denna entreprenadform, men vår uppfattning är att de bör vara användbara även för totalentreprenader. En utmaning med att använda totalentreprenad i undermarksbyggande är att entreprenören normalt förväntas ta på sig en större del av den geologiska risken än i en utförandeentreprenad (Figur 5).

För detta risktagande förväntas entreprenören normalt ta extra betalt genom utökad riskpremie i priset. Eftersom de epistemiska osäkerheterna kan vara mycket stora i ett undermarksprojekt, betyder det att entreprenörens risktagande kan bli mycket stort (och riskpremien mycket hög), såvida man inte i kontraktet begränsar entreprenörens ansvar för markförhållandena. Vår uppfattning är att geotekniska bedömningsgrunder kan vara ett lämpligt verktyg för att tydliggöra var entreprenörens ansvar för de geologiska riskerna slutar inom totalentreprenaden, d.v.s. vilka markförhållanden som entreprenören måste kunna hantera till det överenskomna fasta priset. Var denna gräns ska sättas är till syvende och sist ett beslutsteoretiskt problem för beställaren: hur mycket mer är man beredd att betala i riskpremie för att ytterligare minska sannolikheten att senare behöva ge entreprenören extra ersättning på grund av svåra markförhållanden?

5 SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE

Hantering av ekonomiska risker i undermarksprojekt är knappast en enkel uppgift, varken för beställare eller entreprenör. Antalet variabler är helt enkelt mycket stort och många av dem är behäftade med mycket stora osäkerheter. En grundprincip för att tunnelbyggnadsindustrin ska vara långsiktigt hållbar bör vara att entreprenören får skälig ersättning både för utfört arbete och för sitt risktagande. Det innebär bland annat att beställaren behöver göra förfrågningsunderlaget kalkylerbart, så att entreprenören i sitt anbud förmår sätta ett pris som faktiskt avspeglar förväntade kostnader och rimlig riskpremie. Vår uppfattning efter att ha utfört denna förstudie är att geotekniska bedömningsgrunder (geotechnical baselines) kan vara ett verktyg som underlättar prissättning med avseende på risktagandet i kontraktet. Den viktigaste skillnaden mot dagens praktik är beställarens utökade förberedelser av förfrågningsunderlaget. För att fastställa de geotekniska bedömningsgrunderna i förfrågningsunderlaget behöver beställaren tolka den ingenjörsgelogiska prognosen, och analysera vad den faktiskt säger om sannolikheten för olika geologiska scenarier som kan påverka projektets tid och kostnad.

Det finns här ett antal frågeställningar som kräver ytterligare forskning och utredning:

- Denna rapport presenterar endast ett tillämpningsexempel, men det finns många olika typer av markförhållanden som det kan finnas skäl att kontraktuellt reglera med geotekniska bedömningsgrunder. Hur det ska göras i praktiken behöver undersökas vidare. En början kan vara att undersöka ifall geotekniska bedömningsgrunder som koncept skulle kunna vara behjälpliga inom områden som beställare och entreprenör ofta tvistar om. Ett sådant område kan vara utformning av rättvis ersättning för injekteringsarbeten.
- En av poängerna med att införa geotekniska bedömningsgrunder är att man i kontraktet ska ha en entydig gräns för parternas respektive risktagande. En central aspekt blir då att bägge parter accepterar den utvalda observerade parametern såsom relevant för vad som är kostnadsdrivande. I exemplet i föregående kapitel användes RMR-värdet som parameter. Eftersom kartering av RMR innehåller ett visst mått av subjektivitet, kan det då uppstå oenighet om bergklass-tilldelningen, om det uppmätta värdet ligger nära gränsen och endera parten har mycket att vinna på en omklassificering. Att identifiera lämpliga, entydiga parametrar att observera för att precis kunna avgöra de verkliga markförhållandena är en viktig fråga för fortsatt forskning och utveckling inom området. Ett första steg kan vara att undersöka vilka parametrar som kan vara lämpliga för att

avgöra riskägande i några vanliga geologiska miljöer och där förekommande kostnadsdrivande problem.

- Hur ska en bra rapport för geotekniska bedömningsgrunder utformas? Det behövs ytterligare utredning av vad som är lämplig detaljeringsgrad i detta dokument, samt dokumentets relation till data från förundersökningar.
- Valet av fördelningsfunktion (som beskriver sannolikheten att den observerande parametern tar olika värden) har stor påverkan på den beräknade risken. Vilken typ av fördelningsfunktion som lämpar sig för olika geotekniska bedömningsgrunder är inte självklart, utan kräver ytterligare analyser innan man kan ge rekommendationer och praktisk vägledning.
- Dirichlet-fördelningen tycks användbar för att beskriva osäkerheten om hur olika geologiska och geotekniska förhållandens andelsmässigt fördelar sig på en tunnel med känd längd. Det kan exempelvis avse andelen av olika bergklasser i tunneln. Dirichlet-fördelningen har flera intressanta egenskaper, som bör göra det möjligt att matematiskt beräkna dess parametrar utifrån tillgängliga förundersökningar med hjälp av bayesianska metoder. Hur detta låter sig göras och vilka krav detta i så fall ställer på förundersökningarnas omfattning och utförande behöver dock undersökas. Även möjligheten att beakta korrelation mellan olika bergklassers utfall på tunnelsträckan bör undersökas.
- I de standardavtal som idag används vid undermarksbyggande i Sverige finns paragrafer som söker hantera samma typ av problem som geotekniska bedömningsgrunder i kontraktet, nämligen de paragrafer som anger när entreprenören har rätt att omförhandla priset på grund av alltför avvikande förhållanden jämfört med förfrågningsunderlaget. Det behöver utredas i vad mån geotekniska bedömningsgrunder kan ersätta eller komplettera formuleringarna i dessa standardavtal och hur detta låter sig göras i praktiken.
- Även om ett noggrant jobb gjorts med att ta fram geotekniska bedömningsgrunder kommer det alltid att finnas oförutsedda händelser. Det är en fördel om det i kontraktet finns mekanismer som hanterar sådana händelser som inte uppmärksammas vid riskidentifieringen. Hur man som beställare väljer vilka risker som ska regleras med en bedömningsgrund och vilka risker som lämpligen kan klassas som oförutsedda händelser om de inträffar, behöver utredas ytterligare.
- För att kunna hantera geologiska risker på ett förutsägbart sätt med hjälp av geotekniska bedömningsgrunder krävs goda kunskaper inom flera områden hos

både beställare och entreprenör: geologi, undermarksbyggande, kalkyl, kontraktsjuridik, riskhantering och sannolikhetslära. Det är dock knappast realistiskt att tro att alla dessa kompetenser ska kunna finnas hos enskilda personer annat än i undantagsfall, i alla fall inte innan geotekniska bedömningsgrunder har blivit praxis i Sverige. Införande av geotekniska bedömningsgrunder i svenska undermarksprojekt kommer därför troligen att kräva vidareutbildning av de ingenjörer som idag arbetar med ingenjörsgelogisk prognos och dess koppling till förfrågningsunderlaget. För att ta fram de geotekniska bedömningsgrunderna räcker det inte att enbart förstå geologin, utan man behöver även förstå på djupet hur geologin kan påverka tid och kostnader i undermarksprojektet. Detta är enligt vår uppfattning en branschfråga: vilken kompetens kan man kräva av en beställare och entreprenör samt deras respektive konsulter, och hur ska branschen uppnå detta? Finns det exempelvis tillräckliga incitamentsstrukturer som gör det fördelaktigt för branschens alla aktörer att förbättra sin kompetens inom detta område?

- Kopplat till föregående punkt, avseende de många inblandade kompetenserna, ser vi det som viktigt att framtida forskning och utveckling inom området bedrivs tvärvetenskapligt, så att framtagna metoder har en vetenskaplig grund, fungerar i praktiskt undermarksbyggande och samtidigt håller, rent juridiskt.

6 REFERENSER

- Boverket. 2011. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (Eurokoder)*. Karlskrona: Boverket.
- Brantmark, J. 1998. *Rock support in weak rock: a study on the URI project. TRITA-AMI PHD 1206*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Davis, J.A. 2021. Geotechnical Baseline Reports – ground models you can just make up? *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 54, qjgh2020-019.
- Der Kiureghian, A. & Ditlevsen, O. 2009. Aleatory or epistemic? Does it matter? *Structural Safety*, 31(2), 105-112.
- Dwyre, E.M., Batchko, Z. & Castelli, R.J. 2010. Geotechnical baseline reports for foundation projects. *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design*.
- Essex, R.J. 1997. *Geotechnical baseline reports for underground construction: guidelines and practices*. Reston: American Society of Civil Engineers.
- Essex, R.J. 2014. Lessons learned in the development and application of Geotechnical Baseline Reports. In: M. Abu-Farsakh, X. Yu & L. R. Hoyos (eds.), *Geotechnical Special Publication 234: Geo-Congress 2014*. Reston: American Society of Civil Engineers.
- FIDIC. 2019. *Conditions of contract for underground works (FIDIC Emerald Book)*. Geneva: FIDIC.
- Gomes, A.R.A. 2020. Considerations on the practical development of the Geotechnical Baseline Report (GBR) for the FIDIC Emerald Book and similar contract forms. *Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress, WTC2020 and 46th General Assembly, Kuala Lumpur, 2020*. AITES-ITA, id102.
- Hatem, D.J. 1998. Geotechnical baselines: Professional liability implications. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13(2), 143-150.
- Hatem, D.J. & Essex, R.J. 2013. Subsurface public-private partnership projects: brave new world of risk allocation. In: M. A. DiPonio & C. Dixon (eds.), *Rapid Excavation and Tunneling Conference, 2013 Proceedings, Washington DC, 2013*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 110-116.
- Heiner, A., Martna, J. & Stille, H. 1993. The Uri Projects and its status 1992. *Bergmekanikdagen, Stockholm, 1993*. BeFo, 185-200.
- Isaksson, T. & Stille, H. 2005. Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 38(5), 373-398.
- ISO 2017. *ISO 44001: Collaborative business relationship management systems — Requirements and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 2018. *ISO 31000: risk management – guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.

- Lundman, P. 2011. *Cost management for underground infrastructure projects: A case study on cost increase and its causes*. Doktorsavhandling. Luleå: LTU.
- Malcolm, D.G., Roseboom, J.H., Clark, C.E. & Fazar, W. 1959. Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations Research* 7(5), 646-669.
- Mohammadi, M. 2021. *Probabilistic time estimation in tunnel projects. TRITA-ABE-DLT 2137*. Licentiate thesis. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Mohammadi, M., Spross, J. & Stille, H. 2022. Probabilistic Time Estimation of Tunneling Projects: The Uri Headrace Tunnel. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Under utgivning. DOI: 10.1007/s00603-022-03022-3.
- Olsson, L., Spross, J., Hintze, S., Stille, H. & Båtelsson, O. 2019. *Verktyg för hantering av geotekniska risker: vägledning till systemförståelse och riskidentifiering*. Stockholm: SBUF.
- Palmström, A. & Stille, H. 2015. *Rock engineering*. London: Thomas Telford.
- Riksrevisionen 2021. *Kostnadskontroll i infrastrukturinvesteringar. RiR 2021:22*. Stockholm: Riksrevisionen.
- SGF 2014. *Riskidentifiering: Metoder för att hitta hot och möjligheter. Metodbeskrivning. Rapport 2:2014*. Linköping: Svenska Geotekniska Föreningen.
- SGF 2017. *Risk management in geotechnical engineering projects – requirements: Methodology. Rapport 1:2014E (2nd Ed.)*. Linköping: Svenska Geotekniska Föreningen.
- Spross, J., Olsson, L., Hintze, S. & Stille, H. 2015. *Hantering av geotekniska risker i byggprojekt: ett praktiskt tillämpningsexempel. Rapport 13009*. Stockholm: SBUF.
- Stille, H. 2017. Geological uncertainties in tunnelling – risk assessment and quality assurance. *Sir Muir Wood lecture 2017*. Paris: International Tunnelling and Underground Space Association.
- Tidlund, M. 2021. *Geotechnical risk management using the observational method*. Doktorsavhandling, TRITA-ABE-DLT-2123. Stockholm: KTH.
- Trafikverket. 2010. *Val av affärsform för entreprenader i Trafikverkets investeringsverksamhet. TDOK 2010:238*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. 2019. *Projektering av bergskonstruktioner, nr 2019:062*. Sundbyberg: Trafikverket.
- Transportstyrelsen. 2018. *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder. TSFS 2018:57*. Norrköping: Transportstyrelsen.



Box 5501
SE-114 85 Stockholm

info@befoonline.org • www.befoonline.org
Besöksadress: Storgatan 19, Stockholm

ISSN 1104-1773