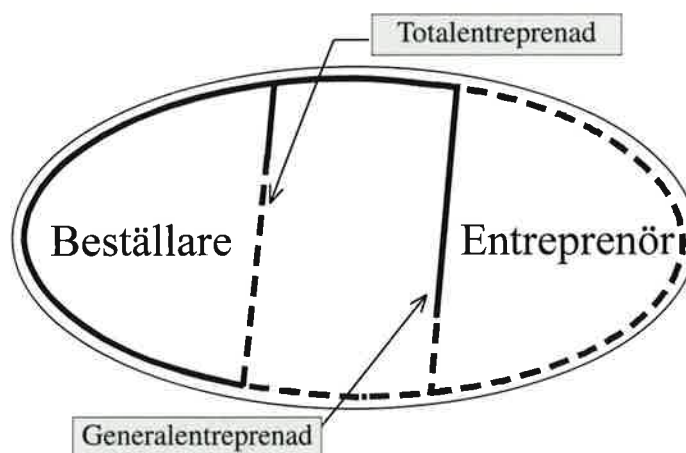


RISKER VID STORA UNDERMARKSPROJEKT

Planering, produktion och förvaltning

Per Tengborg



STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH

**RISKER VID STORA
UNDERMARKSPROJEKT
Planering, produktion och förvaltning**

**Risks at large underground projects
Planning, production and administration**

Per Tengborg, Sydkraft Konsult AB

SveBeFo Rapport 38

Stockholm 1998
ISSN 1104-1773
ISRN SVEBEFO-R--38--SE

FÖRORD

Undermarksbyggande är förknippat med osäkerheter av olika slag, bland annat som följd av att de geologiska förhållandena aldrig är helt kända på förhand. Man måste under ett projekts alla faser fatta beslut som har stor betydelse för anläggningens funktion och ekonomi. Med ett begränsat faktaunderlag är det desto viktigare att man grundar sina beslut på en väl genomarbetad riskanalys, där sannolikhet och konsekvens av olika vägval värderas.

I SveBeFo:s forskningsprogram pågår några projekt med syfte att belysa och utveckla metoder för en mer stringent beslutsprocess. De behandlar de geologiska osäkerheterna och hur man väljer byggmetod och - i föreliggande rapport - de organisatoriska och kontraktuella risker som föreligger under ett projekts olika faser, från tidig planering till förvaltning och underhåll av en färdig anläggning.

Rapporten är en relativt ingående beskrivning av typiska osäkerhetsmoment som hör till de olika skedena och hur de kan hanteras, där olika aktörers roller och ansvar är en central fråga. Kontraktsformer, kvalitetssystem och försäkringar är viktiga komponenter för att reglera riskfördelning och faktiska avvikelser från antagna förhållanden - antingen de har varit förutsedda som möjliga utfall eller varit svåra eller omöjliga att förutse.

Många av de frågor som tas upp belyser svårigheten att ge entydiga svar eller rekommendationer. Inte minst försäkringsfrågor är - som nämns i rapporten - komplexa och kräver ofta särskild expertis. Texten är till stor del resonerande och kan ses som ett diskussionsunderlag inom ett aktuellt område, där fortsatt forskning är angelägen. Det kan gälla att vidareutveckla kalkylmetoder som tar hänsyn till de speciella förutsättningarna vid undermarksbyggande eller att följa upp verkliga fall där man har tillämpat en mera stringent riskanalys eller alternativa kontraktsformer.

Som en del av vårt forskningsarbete kring riskanalys är projektet gemensamt finansierat av SveBeFo, Elforsk, Vägverket, Banverket, SKB och SBUF och har följts av en referensgrupp representerande finansiärerna under ordförandeskap av Per Hogård, Skanska Teknik. Författaren Per Tengborg har också haft stöd av den gemensamma projektgrupp för våra riskanalysprojekt, där professorerna Håkan Stille, Ove Stephansson och Torbjörn Thedéen, KTH ingår tillsammans med Lars Olsson, Geostatistik, och forskarna Robert Sturk, Skanska, och Therese Isaksson, KTH.

Stockholm i juli 1998

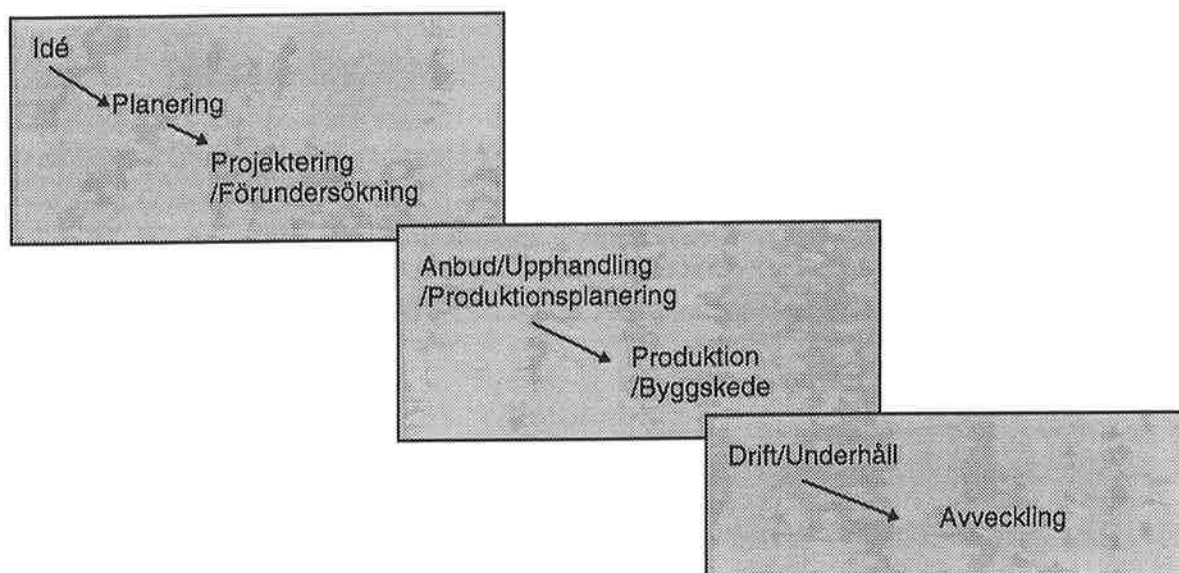
Tomas Franzén

SAMMANFATTNING

Denna forskningsrapport beskriver organisatoriska och kontraktuella risker som föreligger under ett projekts olika faser, från tidig planering till förvaltning och underhåll av en färdig anläggning och är en del av ett forskningsprojekt som pågår på KTH. De två andra delarna av forskningsprojektet behandlar geologiska osäkerheter respektive hur man väljer byggmetod vid undermarksbyggande.

Undermarksbyggande är idag ofta en integrerad del i projekt med stor omfattning och komplexitet vilket gör dem svåröverskådliga och felaktigt handläggande kan innebära stora risker. Det är därför inte ovanligt att större undermarksprojekt blir försenade, dyrare eller att andra tekniska lösningar än de ursprungligen projekterade väljs.

Den process som ett anläggningsprojekt genomgår från idé till drift och slutlig avveckling av anläggningen innebär många ställningstaganden och beslut.

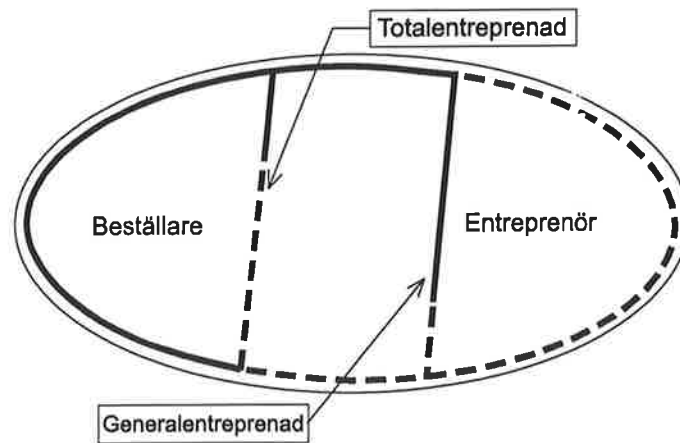


Genom byggprocessens olika skeden kan tre huvudaktörer identifieras, nämligen byggherre, projektör och entreprenör. Byggprocessen påverkas av de lagar, normer och föreskrifter som regering och riksdag har stiftat på samhällets uppdrag och även samhället är härigenom en viktig aktör. Genom försäkringslösningar kan en aktör sprida risker och försäkringsbolagen spelar härigenom en viktig roll under byggprocessen.

Fördelningen av byggherrens respektive entreprenörens åtaganden beror av vilken entreprenad- och ersättningsform byggherren valt för projektet. Olika entreprenadformer innebär mer eller mindre ansvar eller risktagande för byggherre respektive entreprenör. Entreprenadformerna kan varieras till ett flertal mellanformer och nya varianter tillkommer med tiden. Det finns dock vissa åtaganden som respektive aktör alltid ansvarar för oavsett vilken entreprenadform som väljs. Byggherrens obligatoriska ansvar, oavsett entreprenadform, är att ställa upp funktionskrav och kvalitetskrav samt att ta ansvar för bergmaterialets beskaffenhet. I en renodlad funktionsentreprenad tar emellertid

entreprenören ansvar för bergets beskaffenhet. Entreprenören å sin sida har alltid ansvar för arbetarskydd och själva utförandet.

”Riskägget” i figuren nedan, beskriver hur risken i projekt kan förskjutas mot eller från entreprenören beroende på kontraktsform.



Begreppet risk används här i betydelsen ”förväntad konsekvens” eller ”förväntad förlust av nytta”, vilket avser ekonomisk konsekvens eller ekonomisk nytta. Följaktligen kommer den skada som drabbar en aktör att direkt eller indirekt vara ekonomisk förlust.

De mer uppenbara riskerna vid undermarksbyggande är förknippade med ras, vatteninläckage eller andra oönskade händelser som kan uppstå och härrör från själva bergmassan i kombination med vald byggmetod. De risker som denna rapport beskriver och som kan vara av lika stor betydelse är förknippade dels med kontraktet mellan aktörerna och dels med projektets organisation.

Kontraktet bör fördela risker, ansvar och åtaganden på ett rättvist sätt med ett direkt samband mellan insats och belöning. Ett "dåligt" kontrakt har ofta den bristen att den ena parten får för stora åtaganden utan att det regleras ekonomiskt rättvist. Det är därför viktigt att förutse projektfaror inför kontraktets upprättande och även att åstadkomma ett kontrakt som kan reglera avvikelser och förändringar under projektets gång, inte minst förändringar i de ursprungliga geologiska förutsättningarna.

Byggherren tar stora risker i den inledande planeringsfasen samt då anläggningen övergår till drift, men har möjlighet att påverka riskerna genom olika insatser. Uppläggning av planeringen med tidig analys av föreliggande hot samt omfattningen av förundersökningar styrs av byggherren och påverkar risknivån.

Projektörens mål är att utifrån ofta en given plats, befintliga geologiska/geotekniska förhållanden, en funktionsbeskrivning och samhällets normer genomföra en projektering. Projektören har ej något egentligt skäl att utsätta sig för risker utan förväntas göra val och ta beslut på säkra sidan. Det kan innebära lösningar som ej är optimerade.

Entreprenörens mål med verksamheten är i första hand att genomföra projekt som på lång sikt ger företaget maximal vinst. Riskerna för entreprenören upplevs som betydande i kontraktsskedet då entreprenören låser fast sina åtaganden.

Försäkringar spelar en allt större roll i undermarksprojekt. Det finns idag försäkrings-skydd för byggherre, projektör och entreprenör i de olika skedena av byggprocessen. Skydd genom försäkring mot att en entreprenad blir dyrare eller tidsförlängd på grund av besvärliga geologiska förhållanden förekommer normalt inte.

Försäkringar är en viktig del i skyddet av befintliga anläggningar och erfarenheterna är än så länge störst avseende vattenkraftsanläggningar under mark.

Den riskvärdering som försäkringsbolagen gör för den allmänna byggsektorn utgår från statistik baserad på ett stort antal händelser. Nyproduktion av undermarksprojekt är jämförelsevis få och inbördes mycket olika. Det finns därför begränsat statistiskt underlag som försäkringsbolagen kan utnyttja för att bedöma riskerna avseende nybyggnadsprojekt. Försäkringsbolagen sprider sina risker genom att återförsäkra sig på den internationella marknaden.

En väl fungerande organisation med kompetent personal genom ett projekts olika faser ökar möjligheten att genomföra projektet framgångsrikt. Här är kvalitetsarbetet mycket viktigt för att kunna hantera organisatoriska faror.

Att ha ett kvalitetssystem är att förfoga över ett redskap som syftar till att på ett systematiskt sätt tänka igenom och formulera arbetssätt, ansvar och befogenheter. Ett kvalitetssystem är således ett verktyg bredvid verktyget "riskanalys" som bidrar till kontrollen över ett byggprojekt. Metoder för kvalitetssäkring inom branschen idag omfattar spektret från företagsinterna kvalitetsrutiner som man tagit fram på egen hand och därigenom är helt anpassade till den egna specifika verksamheten till nyttjande av SS-ISO 9000 serien.

Byggherrar, konsulter och entreprenörer har idag olika nivå på sina kvalitetsystem men samtliga aktörer söker efter en lämplig nivå. Deras system utvecklas successivt, även om utvecklingen i branschen är långsam jämfört med den inom till exempel mekanisk industri.

För att kunna genomföra resurskrävande projekt vill man kunna beräkna tid och kostnad i olika skeden av ett projekt. I rapporten presenteras olika sannolikhetsbaserade metoder för att möjliggöra prognostisering av tid och kostnad i projekt. Som underlag till kalkyler vill man kvantifiera eller åskådliggöra orsakssamband eller händelsekedjor vilket kan utföras med riskanalysmetoder som fel- och händelseträdsanalys.

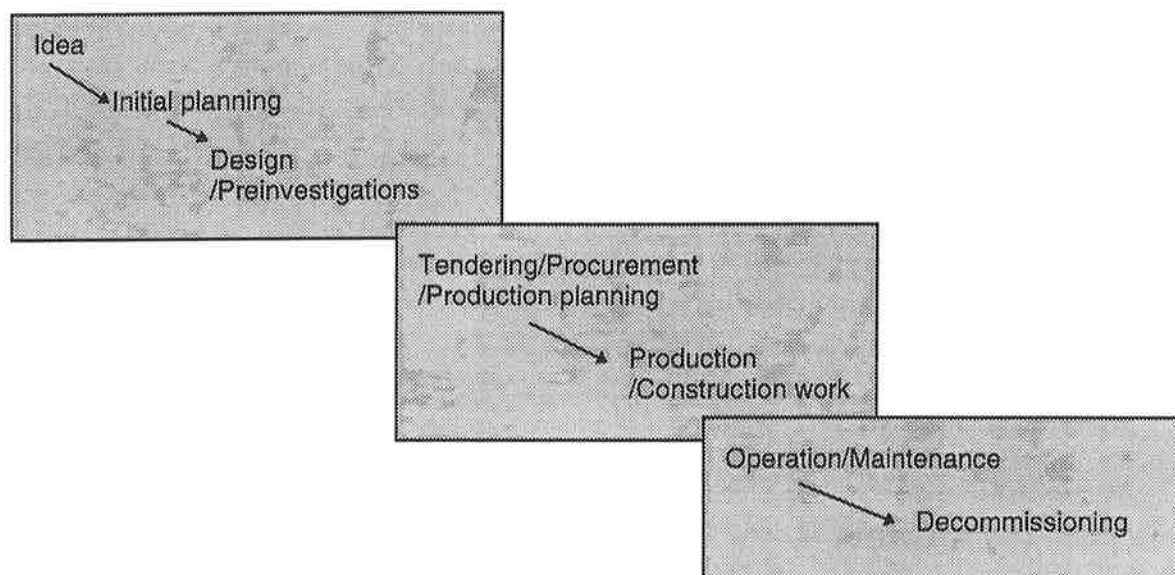
Avslutningsvis kan konstateras att det finns en mängd olika risker inom undermarksprojekt som måste hanteras och kommuniceras mellan aktörerna. Det är därför högst väsentligt att få in en helhetssyn i undermarksprojekten för att kunna göra ändamåls-enliga bedömningar av kostnad och tid. Fortsatt forskning inom kostnads- och tids-kalkylering bedöms därför vara en viktig fortsättning.

SUMMARY

This report describes the organisational and contractual risks involved in the various phases of a building project, from initial planning to management and maintenance of the complete plant. This work is part of a research project being carried out at the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. The other two parts of the project are concerned with geological risks and the choice of technique for underground construction.

Underground construction today is often an integrated part of large, complex projects, which makes it difficult to obtain a broad overview. This may lead to erroneous decisions which in turn may involve considerable risks. It is therefore not unusual for large underground projects to be delayed, to be more expensive than first estimated, or for other technical solutions to be employed than those originally planned.

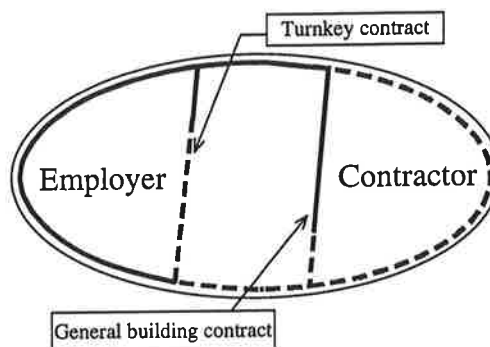
The process through which a construction project goes from idea to operation and an eventual final closure involves many phases and decisions.



During the various phases of a building project, three main parties can be identified, namely: the employer of the project (the client), the designing engineer and the contractor. The building process is affected by legislation, building standards and regulations instituted by the government and parliament and commissioned by society. Society can thus also be regarded as an important party in this process. The possible risks involved can be spread out, and in this way, insurance companies play a significant role during the building process.

The responsibilities of the employer and the contractor are defined by the type of contract and remuneration. The form of the contract may vary so that more, or less, responsibility rests with the employer or the contractor. There are, however, certain responsibilities which always rest either with the employer or the contractor, regardless of the type of contract entered into. The obligatory responsibilities of the employer, regardless of the type of contract, are to define specifications regarding quality and performance, and to take responsibility for characterisation of the ground conditions in which the plant is to be constructed. In a contract in which the contractor is fully responsible for the performance of the completed plant (Funktionsentreprenad), the contractor takes responsibility for the ground conditions. The contractor is, however, always responsible for safety at the construction site and for bringing the project to a satisfactory conclusion.

The “risk egg” below illustrates how the risks involved in a building project can be shifted towards the employer or the contractor, depending on the type of contract entered into.



The term “risk” is used here to denote “an unexpected consequence” or “an expected loss of benefit”, the consequences or benefits being economic. Consequently, the party affected will directly or indirectly suffer economic loss.

The most obvious risks associated with underground construction are landslides, water leakage, or other undesirable events which may arise due to the character of the rock in combination with the chosen method of construction. The risks described in this report can be of equal importance and may be associated with the contract between the parties and with the organisation of the project.

The terms of the contract should be such that the risks, responsibilities and commitments are distributed fairly between the parties and in direct proportion to their contribution to and remuneration for the project. A poor contract often has the failing that one party has the greatest obligation without having adequate economic control. It is thus important to anticipate possible risks before drawing up the contract, and also to draw up the contract such that deviations and changes can be taken into account during the course of the work, not least deviations from the original geological assumptions.

The employer of the building takes great risks in the initial planning phase, and later when the plant is taken into operation. He has, however, the opportunity to influence these risks by taking various measures. He has control over the planning so that provision can be made for the early analysis of tentative threats, and the extent of the preliminary investigation can also be defined.

The aim of the designing engineer is to design the project based on an often given location, the geological conditions, a description of the desired construction and the standards laid down by society. There is no real reason for the design engineer to expose himself to significant risks but he is instead normally expected or inclined to make choice and decisions on the safe side. This might lead to non-optimised jobs.

The aim of the contractor is, in the first place, to carry out the project in such a way that it affords his company the maximum profit in the long term. The risks to which the contractor is exposed are perceived as substantial during the drawing up of the contract as the contractor binds himself to certain undertakings.

Insurance is playing an ever increasing role in underground projects. Today, there is insurance available for employers, designing engineers and contractors during different phases of the construction process. However, normally it is difficult to take out insurance against increased costs or delay due to problematic geological conditions.

Insurance plays an important role in the protection of existing facilities, and the greatest experience is so far to be found in underground hydro-power plants.

The risk assessment carried out by insurance companies for the general building trade is based on statistics gained from many incidents. Newly constructed underground plants are rather scarce, and differ considerably from each other. There is thus only a limited amount of statistics available on which insurance companies can base their risk assessments for such projects. Insurance companies spread their risks by reinsuring themselves on the international market.

A well-functioning organisation with competent personnel increases the chances of successfully carrying out the project. In this respect, quality assurance is very important in dealing with risks associated with the organisation of the work.

Having a quality assurance system means having at one's disposal a tool, the aim of which is to consider and formulate methods of working, responsibility and authority in a systematic fashion. Quality assurance is thus a tool to be used alongside the tool of risk analysis, which contributes to increased control over the building project. Methods of quality assurance used in the construction industry today cover the broad spectrum from internal company quality assurance programmes, devised internally and suited to the specific activities of that company, to the ISO 9000 series.

Employers of buildings, consultants and contractors have quality assurance systems of varying standards, but all are trying to find a suitable level. These systems are being developed successively, although the rate of development is slow compared with, for example, the mechanical engineering industry.

In order to be able to carry out resource-demanding projects, it is desirable to be able to predict the cost and time required for each phase of the project. In this report probability-based methods allowing the prognosis of time and cost in projects are presented. As the basis for calculations, it is desirable to be able to quantify or elucidate causal connections or chains of events. This can be achieved using methods of risk analysis such as error and event-tree analysis.

In conclusion, it can be seen that there are a number of risks involved in underground projects which must be communicated between and dealt with by the parties jointly. It is thus of the utmost importance to have a general overview in order to be able to make appropriate estimates of time and cost. Further research into time and cost prognoses is thus deemed to be important.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD

SAMMANFATTNING

SUMMARY

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Forskningsprojektet	2
1.3	Mål och avgränsningar	3
2	DEFINITIONER	5
2.1	Termer inom besluts- och riskanalys använda inom forskningsprojektet	5
2.2	Termer inom byggprocessen	7
3	KOMPONENTER I ETT UNDERMARKSPROJEKT	9
3.1	Faser - från idé till avveckling	9
3.1.1	Produktbestämning	12
3.1.2	Produktframställning	13
3.1.3	Produktanvändning	15
3.2	Aktörer	16
3.2.1	Samhälle - krav och påverkan	17
3.2.2	Byggherre och verksamhetsidkare	19
3.2.3	Projektör	20
3.2.4	Entreprenör	21
3.2.5	Försäkringsbolag	22
3.3	Entreprenader	23
3.3.1	Entreprenadformer	23
3.3.2	Ersättningsformer	27
3.3.3	Ansvarsfördelning	28
3.3.4	Byggherrens val av entreprenadform	29
4	RISKER I UNDERMARKSPROJEKT	33
4.1	Inledning	33
4.1.1	Några centrala begrepp	33
4.1.2	Typiska riskobjekt och tillhörande faror	36
4.2	Risker ur byggherrens synvinkel	39
4.2.1	Faror	39
4.2.2	Riskvärdering idag	41
4.2.3	Risikfördelning / riskreducering	42
4.2.4	Kritisk analys	42
4.3	Risker ur projektörens synvinkel	43
4.3.1	Faror	43
4.3.2	Riskvärdering idag	44
4.3.3	Kritisk analys	44

4.4	Risker ur entreprenörens synvinkel	44
4.4.1	Faror	45
4.4.2	Betydelsefulla skadehändelser	46
4.4.3	Riskvärdering idag	46
4.4.4	Riskfördelning / riskreducering	47
4.4.5	Kritisk analys	48
4.5	Försäkringars roll i samband med risker	48
4.5.1	Försäkringsformer	49
4.5.2	Försäkringsbolagens riskvärdering idag	52
4.5.3	Försäkringars roll inom undermarksbyggande och drift idag	53
4.5.4	Kritisk analys	54
4.6	Ägarens syn på underhåll och haveri	55
4.6.1	Bakgrund	55
4.6.2	Planerat underhåll	55
4.6.3	Haveri och andra skäl för oplanerade åtgärder	56
4.6.4	Beständighet	58
4.6.5	Kritisk analys	58
5	KVALITETSSYSTEM	59
5.1	Varför behövs kvalitetsarbete inom undermarksbyggande?	60
5.2	Kvalitetsarbete i byggprocessen	62
5.3	Metoder för kvalitetsstyrning	64
5.3.1	Metoder	64
5.3.2	Sammanfattning	69
5.4	Diskussion	70
6	VERKTYG FÖR KALKYLERING, TIDSPLANERING OCH RISKBEDÖMNING INOM UNDERMARKSBYGGANDE	73
6.1	Sannolikhetsbaserade metoder	75
6.1.1	Successiva metoden	75
6.1.2	PERT	77
6.1.3	MonteCarlo simulering	77
6.1.4	Point Estimate Metoden (PEM)	79
6.1.5	β -metoden	80
6.2	Risikanalysmetoder	81
6.2.1	Felträdsanalys	81
6.2.2	Händelseträdsanalys	83
6.3	Beslutsanalys	84
6.3.1	Beslutsträdsanalys	84
6.4	Investeringskalkyl	85
6.4.1	LCC-analys	85
7	DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE	87
7.1	Diskussion	87
7.1.1	Risiktagande	87
7.1.2	Kommunikation, kompetens och helhetssyn	87
7.2	Fortsatt arbete	88
8	REFERENSER	91

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Arbetenas storlek och komplexitet inom undermarksbyggande gör dem ofta svåröverskådliga och innebär i flera fall risker vid ett felaktigt handläggande. Det är inte ovanligt att större projekt blir försenade, dyrare eller att andra tekniska lösningar än de projekterade väljs. Okända eller endast delvis kända förutsättningar är karaktäristiskt för undermarksbyggande och leder ofta till sådana oönskade konsekvenser.

Undermarksbyggande är ju en speciell verksamhet som skiljer sig från annan byggverksamhet eftersom byggnadsmaterialet är på plats från början och måste godtas som det är sedan platsvalet är klart. Berget som ska tas ut eller utgöra byggnadsmaterial för tak, golv och väggar i en berganläggning är sällan känt från början vilket innebär att anläggningen inte kan dimensioneras i detalj. För att få bättre underlag för dimensionering och möjliggöra planering av drivningsmetoder samt bedömning av konsekvenserna av en undermarksanläggning på omgivningen (till exempel sättningar och grundvattenavsänkning) är vi beroende av att kunna prognostisera rådande förhållanden med hjälp av förundersökningar. Jord, berg och vatten är typiska exempel på sådana förhållanden.

Liksom för nybyggnad så uppkommer i samband med underhåll av undermarksanläggningar ofta situationer där beslut ska fattas på basis av ofullständigt underlag. Beständighetsfrågor, framtida påverkan och den geologiska omgivningen är avgörande parametrar tillsammans med ekonomiska konsekvenser vid driftavbrott som måste vägas samman för att kunna utvärdera vilka åtgärder som bör genomföras. I samband med ras i en tunnel eller bergrum ska det till exempel beslutas om endast raset ska åtgärdas eller om även andra underhållsåtgärder ska vidtagas.

Det finns behov att kunna besvara denna typ av frågeställningar med hjälp av analysmetoder för att på ett metodiskt och effektivt sätt belysa problemen, möjliggöra kalkylering och därigenom ge bättre underlag för att ta beslut.

Skicklig personal vid stuff betraktas allmänt i branschen som en av de viktigaste ingredienserna för ett gott genomförande av undermarksprojekt. De rutiner och den organisation som behövs för genomförande av projektet måste vara anpassade för uppgiften. För att framgångsrikt driva större undermarksprojekt är det viktigt att besluten sker på rätt nivå och av kunniga personer.

Styrande för arbetenas genomförande och anläggningens utformning är inte bara de fysiska förhållandena med jord, berg och vatten utan i allra högsta grad även vald kontraktsform. Färsk exempel visar hur kontraktsformen ibland styr arbetena i felaktig riktning och försvårar ett bra utförande och därigenom ökar risken för att projektet blir dyrare, försenat eller måste avbrytas.

Nya kontraktsformer och finansieringslösningar som blivit aktuella i Sverige och Norden finner vi nu i de så kallade BOT- eller BOOT-projekten (Build, Own, Operate, Transfer). Ett konsortium utför då hela eller stora delar av finansiering, planering, projektering, byggande och en tids drift som avslutas med att anläggningen överförs till exempel till Banverk eller Vägverk. I samband med denna form av projektgenomförande förväntas det ställas högre krav på att fastställa risker — behovet av besluts- och riskanalys kommer troligen att öka.

1.2 Forskningsprojektet

Under de senaste 10 åren har metodik utvecklats för att mer systematiskt än vad det görs idag förutse och handskas med risker och ge beslutsstöd. Metodiken kallas besluts- och riskanalys och används idag i begränsad omfattning inom byggbranschen. Med hjälp av riskanalys som omfattar en stringent värdering och analys av till exempel underlagsmaterial, förundersökningsresultat och projektets allmänna förutsättningar kan:

- Fokusera på väsentligheter, ha åtgärdsberedskap där det är viktigast.
- Erforderliga kompletteringar i undersökningar och design genomföras, för att på ett säkrare sätt än tidigare göra bättre prognoser.
- Beslutsfattare, såväl byggherrar som entreprenörer erhålla ett beslutsunderlag för säkrare bedömning av projektets tid och kostnad.
- Ett bättre stöd erhålls vid beslut i byggskedet i samband med "Aktiv design".
- Ett bättre stöd erhålls vid beslut i samband med underhållsarbeten i äldre tunnlar och berggrum.
- Reducera den verkliga risken.

Flera metoder för risk- och beslutsanalys finns idag utvecklade och riskanalyser används i stor omfattning inom flera branscher. Metoderna är emellertid dåligt anpassade för applikation till stora anläggningsarbeten där risker kopplade till geologiska och hydrologiska förhållandena och andra projektrelaterade osäkerheter ofta är de största. Mot den bakgrunden har forskningsprojektet *Teknisk och ekonomisk riskanalys vid stora undermarksprojekt* initierats av avdelningen för jord- och bergmekanik vid KTH.

Syftet och målet med projektet är att:

- Ta fram metoder för att stokastiskt behandla geologisk information.
- Utarbeta metoder för hur stringenta besluts- och riskanalyser anpassade till anläggningsarbeten under mark ska utföras samt skapa underlag för att tillämpa dessa metoder.

Projektet är indelat i två delar som i korthet innebär målsättningen att kunna besvara frågorna:

- I Hur ska man handskas med geologiska risker?
- II Hur ska ett projekt planeras med hänsyn till olika byggadministrativa risker?

Arbetet med att besvara den första frågan om hantering av geologiska risker bedrivs av Robert Sturk KTH/Skanska Teknik. En delstudie som beskriver befintliga metoder för besluts- och riskanalys och deras tillämpningar inom undermarksbyggande idag är publicerad under rubriken "Besluts- och riskanalys samt stokastiskt synsätt inom undermarksbyggandet", Sturk (1996).

Projektdelen som studerar övergripande risker inom undermarksbyggande, det vill säga andra byggrelaterade risker, genomförs av Per Tengborg KTH/Sydkraft Konsult. Föreliggande rapport är en del i detta arbete.

Sedan forskningsprojektet startat har en ytterligare del knutits till projektet i vilken bergbyggnadstekniska risker studerats av Therese Isaksson KTH.

1.3 Mål och avgränsningar

Målet med rapporten är att lyfta fram och tydliggöra den typ av risker som förekommer vid byggande och underhåll av undermarksanläggningar samt att beskriva nuläget avseende riskhantering. Installationsarbeten, d v s elektriska och mekaniska, omfattas ej av föreliggande arbete. Rapporten utgör härmed en bas för fortsatt utvecklingsarbete inom besluts- och riskanalys för undermarksprojekt, för att möjliggöra bättre riskhantering i branschen.

Rapportens nulägesbeskrivningar av hur risker hanteras och upplevs, baseras till stor del på samtal med enskilda personer från svenska företag och beskriver i och med detta huvudsakligen svenska förhållanden. Avseende principerna och förslag till metoder och hjälpmedel så är dessa dock ej geografiskt begränsade.

Antalet aktörer och intressenter är relativt många men det bör påpekas att tyngdpunkten i rapporten ligger på ägare, byggherre, brukare och entreprenör.

Många frågeställningar som behandlas här finns endast i liten omfattning beskrivna i litteraturen. Information har därför till stor del inhämtats genom personliga samtal med folk i branschen eller specialister som har kunskap inom berörda områden. Det är därför ett relativt fåtal personers egna synpunkter tillsammans med författarens tolkningar och reflexioner som redovisas.

2 DEFINITIONER

Vissa termer som används i rapporten förklaras för att skapa ett mer entydigt språk. Inledningsvis redovisas de definitioner som vi inom forskningsprojektet "Besluts- och riskanalys inom större undermarksprojekt" velat tilldela termer som används just i besluts- och riskanalys. Definitionerna nedan är huvudsakligen gjorda av ingenjörer för tekniska tillämpningar och några viktiga referenser är Raiffa (1970), Benjamin & Cornell (1970), Ang & Tang (1984), Räddningsverket (1989) och Schyllander (1995).

Vidare är några centrala termer som rör byggprocessen definierade utgående från referenser i litteraturen, se till exempel Råsled (1990).

2.1 Termer inom besluts- och riskanalys använda inom forskningsprojektet

Beslut	Vägval, val av ett alternativ i syfte att uppnå visst mål.
Byggteknisk fara	Fara som är förknippad med byggmetoder och utrustning som används i byggskedet.
Fara	Ett hot om en möjlig skadehändelse/olycka. En inbyggd egenskap hos ett riskobjekt.
Geologisk byggfara	Fara som är relaterad till geologin och själva byggaktiviteten.
Initierande händelse	Den inledande händelsen i händelseförloppet som så småningom utlöser ett skadeförlopp. Jämför utlösande händelse.
Konsekvens	Resultatet av en händelse.
Kontraktuell fara	Fara som är relaterad till ett kontrakts utformning.
Olycka	En plötslig icke önskvärd händelse som innebär skada på personer, egendom eller miljö eller medför störning i en pågående process.
Organisatorisk fara	Fara som är förknippad med en organisations uppbyggnad, funktion eller kommunikation.
Risk ¹⁾	Förväntad konsekvens. Förväntad förlust av nytta. Risk (E) = Sannolikhet (P) * Konsekvens av händelse (C).
Riskanalys	Riskanalys innebär en systematisk identifiering av faror och värdering av risken.

Riskobjekt	Ett objekt som innehåller faror. Jord- och bergmassan utgör riskobjekt och innehåller olika geologiska byggfaror. Helt andra, icke-fysiska riskobjekt kan identifieras - till exempel en ekonomisk kalkyl som så småningom kan leda till skadan ekonomisk förlust.
Sannolikhet	Ett numeriskt mått som uttrycker troligheten för att en händelse inträffar (realiseras).
Skada	Oönskad konsekvens.
Skadehändelse	Händelse som leder till skada. Olycka utgör en delmängd av skadehändelse.
Skadeobjekt	Människor, miljö och egendom som utsätts för särskild risk för skada.
Subjektiv sannolikhet	En persons grad av tilltro till en realisering av en händelse alternativt Ett sätt att uttrycka en persons uppskattning av hur trolig en viss händelse är med hänsyn till all tillgänglig relevant information.
Stokastiskt	Slumpmässigt. Från grekiskans <i>stochastikos</i> , vilket betyder "gissa rätt".
Stringent	Följdriktig, tankestram, klar, skarp, konsekvent.
Säkerhetsanalys	Är en typ av riskanalys och avser bedömning av ett systems säkerhet.
Tillförlitlighet	Förmåga hos ett visst system att fungera.
Utlösande händelse	En händelse som utlöser ett skadeförlopp.

¹⁾Förtydligande av riskbegreppet

Risker eller faror har en allmän betydelse i föreliggande rapport och används i samband med:

- Kontraktuella förhållanden som innebär en fara för en aktör
- Geologiska byggfenomen
- Byggmetoders brister
- Organisatoriska förhållanden

Ordet "risk" används även för begreppet sannolikhet och konsekvens

Dessa alternativa användningar av begreppet risk framgår normalt ur sammanhanget eller har klargjorts speciellt.

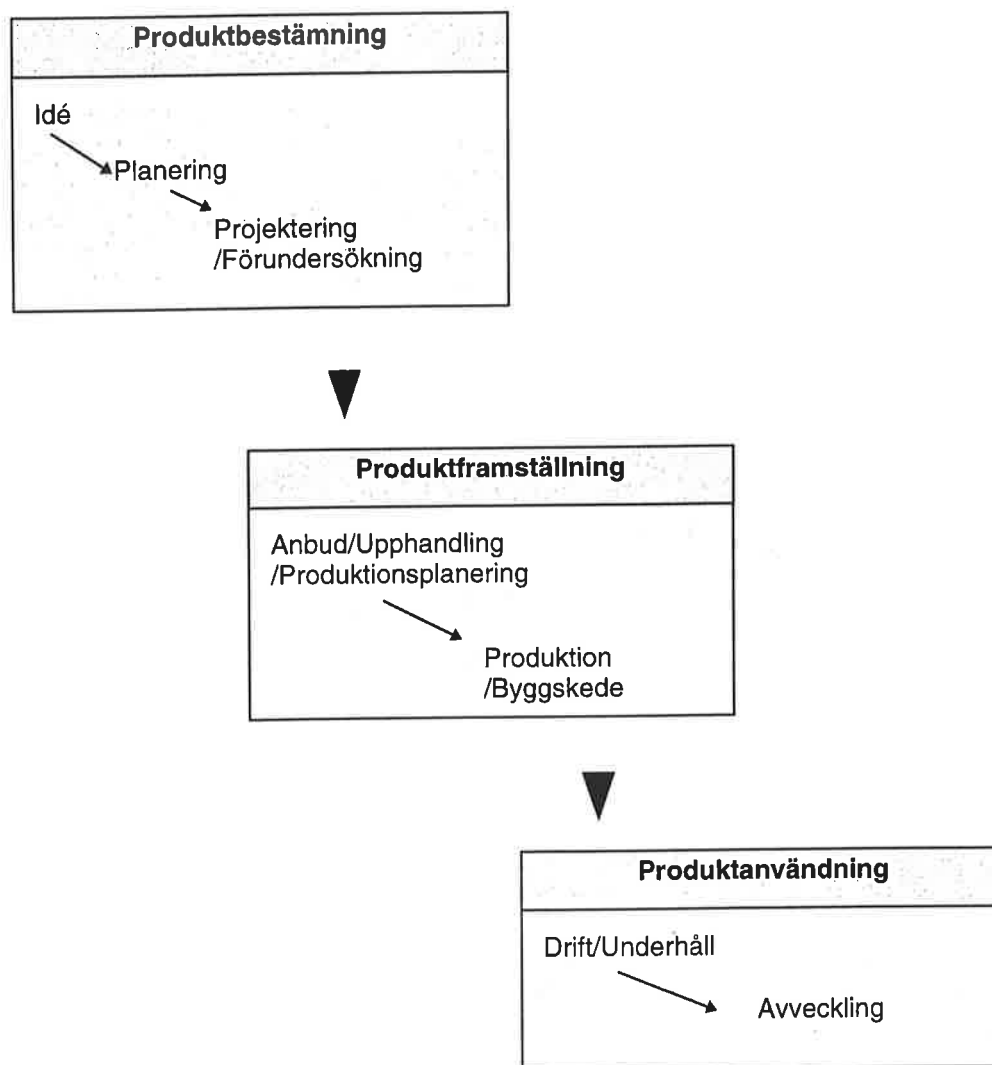
2.2 Termer inom byggprocessen

Beställare	Byggherre eller uppdragsgivare i ett byggprojekt.
Brukare	Nyttjare av en anläggning.
Byggherre	Initierar som regel ett byggprojekt. Står normalt som ägare och/eller förvaltare av det färdiga projektet.
Byggledare	Konsult eller entreprenör som leder, genomför och administrerar produktions-/byggskedet. Byggledarna kan ibland ha samordnande uppgifter under projekteringsskedet.
Entreprenör	Företag som med helt egna eller delvis egna projekterings- och/eller produktionsresurser genomför byggprojekt.
Konsult	Rådgivare. Företag som utan egna produktionsresurser medverkar i byggprojekt.
Projektledare	Konsult eller entreprenör som leder, genomför och administrerar åtminstone projekterings- och produktions-skedena i byggprocessen
Upphandling	Avtal eller kontrakt mellan byggherre/beställare och entreprenör/konsult om genomförande av byggprojekt, d v s hela eller delar av byggprocessen.

3 KOMPONENTER I ETT UNDERMARKSPROJEKT

3.1 Faser - från idé till avveckling

Den process som ett anläggningsprojekt genomgår från idé till drift och slutlig avveckling av anläggningen innebär många ställningstaganden och beslut. I undermarksbranschen tycks det vara främst osäkerhet och risker i projekterings- och produktionsfasen som diskuteras. Vi avser att här vidga det synsättet till att även omfatta faser både före och efter dessa.

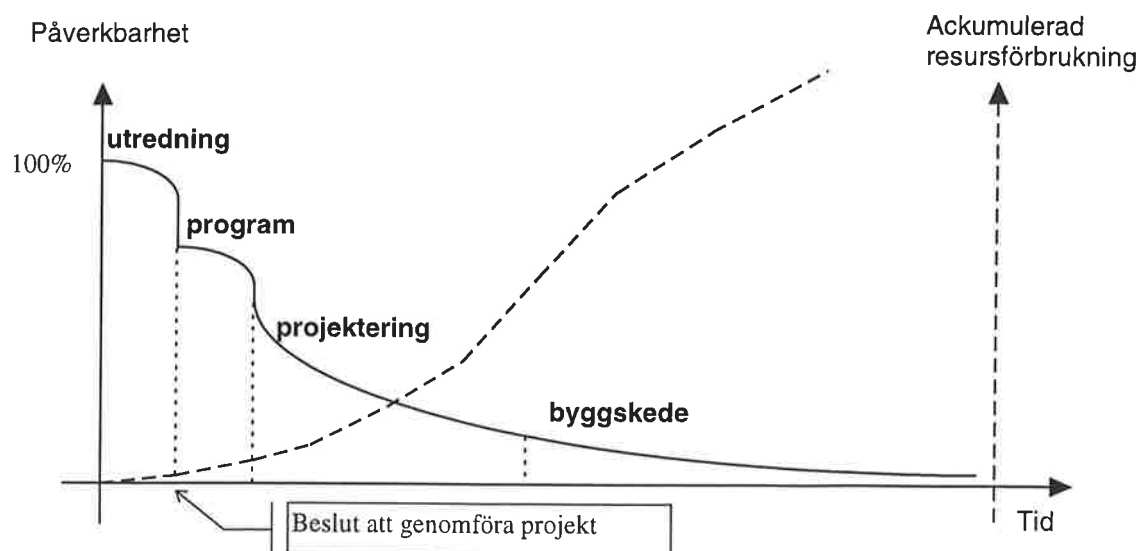


Figur 3.1 En anläggnings faser - från idé till avveckling, modifierad efter Råsled (1990)

De inledande skedena idé, planering och projektering/förundersökning innebär enligt Råsled (1990) produktbestämning när i princip den slutliga utformningen av anläggningen bestäms. Därefter sker själva produktframställningen med anbud/upphandling och produktion. Anläggningens drift och underhåll benämns "produktanvändning" vilken även omfattar avveckling.

Det är en mycket allmän uppfattning att möjligheten att påverka ett projekts utformning och kostnader är stor i de inledande skedena, jämför den klassiska kurvan i Figur 3.2. Denna uppfattning är enligt Sundsvik (1983) obestridlig, men bör enligt hans mening kommenteras. Även om de stora besluten, som sker inledningsvis, bestämmer storleksordningen av anläggningens byggkostnad så representerar de många mindre besluten i projekteringsens slutskede ett ej oansenligt värde.

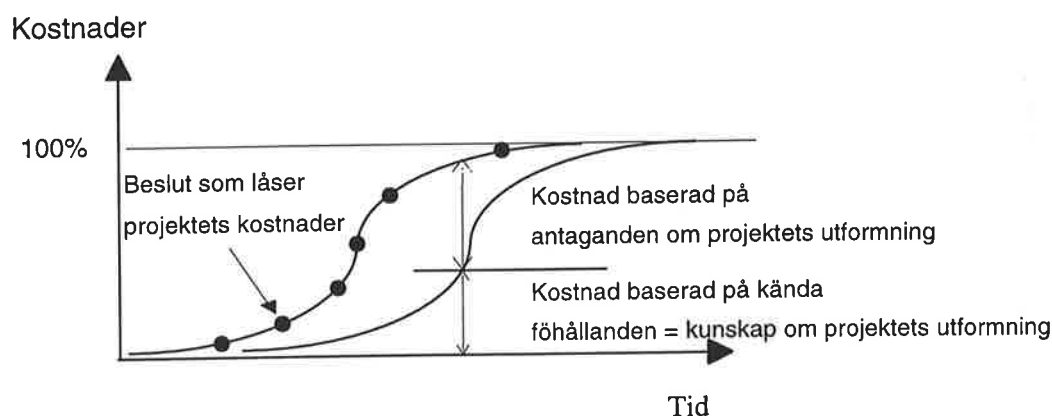
I undermarksprojekt är vi vana vid att arbeta med stora osäkerheter avseende val av byggmetoder och slutlig dimensionering på grund av att byggnadsmaterialet från början ej är helt känt. Metoder och utformning måste anpassas till de förhållanden i undergrunden som naturen har skapat. Den slutliga dimensioneringen bestäms först i samband med berguttaget och betecknas ibland som "aktiv design". Slutgiltig detaljutformning och val av materialkvaliteter kan få stor betydelse för drift- och underhållskostnader, en kostnad som förvaltaren får bära många år framöver. Kurvan i Figur 3.2 som visar påverkbarhet som funktion av de olika faserna är generell, men det bör noteras att det i undermarksprojekt mot bakgrund av det som sagts ovan förekommer en högre påverkan i själva byggskedet och mindre i de tidigare skedena utredning, program och projektering, än i annan typ av byggverksamhet.



Figur 3.2 Det klassiska sambandet om påverkansmöjlighet contra kostnadstillväxten under ett projekt, enligt Avén (1981b)

De kan vara lätt att tro att de inledande "tunga" besluten är oåterkalleliga men det kan finnas skäl att ompröva dem. Den negativa effekten av ett felaktigt beslut kan på lång sikt bli stor och motivera en omprövning, vilket är speciellt viktigt att notera för undermarksanläggningar där livslängden normalt är mycket lång, ofta upp mot 100 år.

Som nämndes inledningsvis så ska det inom ett projekt göras en mängd ställnings-taganden och beslut ska fattas. I de olika faserna skapas, genom successivt ökad kunskap om projektet, ett beslutsunderlag som karaktäriseras av allt större precision. Kunskapen om anläggningens utformning ökar i projektet fram till och med produktion och kan principiellt förväntas följa den nedre kurvan enligt Figur 3.3. Beslut som fattas tidigt låser däremot fast projektets slutkostnad på ett tidigt stadium enligt den övre kurvan. Differensen mellan kurvan som visar "låsnings av slutresultatet" och "kunskapskurvan" är ett mått på osäkerheten fram till och med produktion.



Figur 3.3 Risktagande med hänsyn till beslut och kunskap, Sundsvik (1983). Beslut som bygger på otillräckliga kunskaper om projektet kan innebära onödigt risktagande.

Genom att först lära och därefter ta beslut kan osäkerheten i projektets kostnad reduceras. Besluts kvaliteten kan, enligt Sundsvik, ökas genom att beslut fattas vid en tidpunkt då man har tillräcklig säkerhet i beslutsunderlaget. I praktiken är det emellertid nödvändigt att ta beslut innan tillräcklig kunskap finns, men med kunskap om osäkerhetens storlek bör besluts kvaliteten öka. Exempel på nödvändiga tidiga beslut som låser projektets kostnad kan vara fixering av en väg- eller järnvägstunnels påslagspunkter innan de geologiska förutsättningarna är tillräckligt kända.

3.1.1 Produktbestämning

Den så kallade produktbestämningen omfattar idé, planering och projektering/ förundersökning och utgör det förberedelsearbete som syftar till att skapa goda pris- och kvalitetsförhållanden inom projektet.

Idé

Innefattar en första mycket övergripande skiss över hur ett föreliggande problem ska kunna lösas. Det ingår att definiera problemet, klargöra begränsningar och ange möjliga alternativ. Ett exempel på problem kan vara de tidsödande långa transporter och begränsande maximal last för järnvägstransporter över en ås. Lösningen kan då vara att bygga en tunnel genom åsen.

Planering

Strukturerings av projektet och skedesindelning. Projektets organisation och hur projektet ska drivas bestäms. Övergripande krav fastläggs.

Projektering

Flera skeden ingår i projekteringen nämligen programskede, förslagshandlingsskede, huvudhandlingsskede och bygghandlingsskede vilka utgör ökande grad av konkretisering och detaljeringsnivå som framgår av ritningar och beskrivningar.

Under projekteringen fixeras platsen för en anläggning, byggherrens krav konkretiseras, dimensionering utförs och byggmetoder bestäms.

Förundersökning

Viktiga förutsättningar till projekteringen kommer fram i samband med förundersökningarna. Tidsmässigt genomförs undersökningarna antingen före projekteringen eller parallellt. Undersökningarna är centrala för undermarksprojekt och syftet detta skede är att möjliggöra en tillräckligt säker prognos av det framtida byggmaterialet. Omfattningen av undersökningsinsatsen kan få stor inverkan på säkerhet i uppskattningen av ett projekts tider och kostnader.

En uppenbar och allmänt förekommande orsak till att byggprojekt går snett är att besluten tas på för dåligt underlag. I undermarksprojekt är det klassiska diskussionsämnet mellan byggherre och entreprenör huruvida handlingarna överensstämmer med verkligheten eller ej. Komplexa geologiska förhållanden i kombination med bristfälligt genomförda eller oklart redovisade förundersökningar innebär ofta att förfrågningsunderlaget i anbudsfrågan ej ger erforderlig vägledning till entreprenören för att denna ska kunna lämna ett till verkligheten väl anpassat anbud.

Osäkerheten om de rådande geologiska/geotekniska förhållandena kan reduceras till ett minimum om undersökningarna är mycket omfattande. Extremfallet i samband med tunnelprojekt är att göra en pilottunnel i det framtida tunnelläget, så att de geologiska/geotekniska förhållandena därmed blir kända längs tunnelns hela sträckning. Denna

undersökningsmetodik är naturligtvis enormt kostsam och tillämpas endast i speciella fall, exempelvis i samband med större infrastrukturprojekt med tunnlar genom höga bergskedjor då undersökningar från markytan är alltför kostsamma eller omöjliga att genomföra. Den andra extremen är att ej genomföra några undersökningar alls vilket innebär en mycket stor osäkerhet avseende projektets kostnad, om det överhuvud taget är möjligt att genomföra, färdigställandetidpunkt och hur anläggningen kommer att vara utformad. Vidare ställer det speciella krav på kontrakts- och betalningsformen för att reglera följderna av den stora osäkerheten.

Nivån på förundersökningsinsatsen som bör väljas är komplicerad att fastställa eftersom det beror på ett flertal olika faktorer enligt nedan:

- o anläggningsområdets geologiska/geotekniska komplexitet
- o anläggningens storlek
- o tidigare undersökningar
- o närvaro av andra undermarksanläggningar i området
- o kontraktsform
- o betalningsform
- o byggherrens kompetens och riskbenägenhet
- o entreprenörens kompetens och riskbenägenhet

Väsentligt är dock att förfrågningsunderlaget fyller kraven på att vara entydigt och kalkylerbart.

Vi kommer ej vidare att i detalj diskutera eller föreslå hur omfattande förundersökningar som bör genomföras. Däremot kommer problematiken att tas upp i följande kapitel. Användbarheten av befintliga förundersökningsmetoder ingår i den forskning som för närvarande bedrivs inom detta projekt av Robert Sturk.

3.1.2 Produktframställning

Anläggningens funktion och utformning har lagts fast i projekteringsfasen. Kostnad och tillvägagångssätt för att framställa produkten samt själva produktionen är nästföljande faser.

Anbud och upphandling

Ett antal entreprenörer får anbudshandlingar. Dessa beskriver den produkt som byggherren eftersträvar att få.

Anbudsberedning och kalkylering är ett mycket viktigt skede för entreprenören eftersom det ska mynna ut i ett bindande anbud till byggherren. I anbudet anges kostnad för genomförande av projektet på det sätt byggherren föreslagit, tidsplaner, organisationsscheman, eventuellt byggmetoder etc. Omfattningen av entreprenörens åtagande beror av vilken entreprenadform beställaren anger för entreprenaden, jämför

avsnitt 3.3.1 Entreprenadformer. Det gäller för entreprenören att presentera ett attraktivt pris och tidsplan för genomförandet av entreprenaden. Vidare att övertyga byggherren om sin tekniska kompetens för att möjliggöra ett bra genomförande. Ett sätt att visa sin tekniska kompetens och kreativitet och därigenom öka sin konkurrenskraft kan vara att komplettera sitt anbud med ett sidoanbud, det vill säga ett pris på ett alternativt förslag som kan motsvara beställarens behov.

Upphandlingen följer sedan anbudet är inlämnade till byggherren för granskning och värdering. Inför upphandlingen måste byggherren värdera de olika anbudet och normera dessa så att de går att jämföra, det vill säga dra bort sådant som ej är önskvärt och lägga till kostnad och tid för sådana moment som kan vara utelämnade i vissa anbud.

Förhandlingen mellan byggherre och de entreprenörer som kan komma i fråga för entreprenaden innebär att oklarheter rörande exempelvis kostnadsreglering av arbetenas omfattning, utförande och materialval ska klargöras.

Anbuds och upphandlingsskedet är mycket centralt för entreprenören eftersom det är då det avgörs vilken entreprenör som ska ta hem ordern. Detta innebär att det gäller för entreprenören att skickligt värdera geologi och hur byggmetoder kan utformas med hänsyn till föreslagen utformning för att kunna kostnads- och tidsberäkna aktiviteterna. Här kan entreprenören ta större eller mindre risk för att komma fram med det mest attraktiva anbudet.

Byggherren har som osäkerhetsmoment att välja en entreprenör som kommer att leverera den färdiga undermarksanläggningen till budgeterad kostnad, i tid, med rätt kvalitet och funktion. Det är ett viktigt beslut som kommer att påverka projektets genomförande under hela produktionstiden och innehålla i princip en riskvärdering som innefattar en värdering av olika entreprenörers kompetens i olika avseenden.

Upphandlingen fullföljs genom att avtal upprättas mellan parterna. Där regleras främst ansvar, formen för samarbete och genomförande av entreprenaden samt garantier efter produktion. Huruvida ett avtal är bra eller dåligt visar sig under produktion och drift (garantier), men det kan generellt sägas att ett bra avtal ska vara utformat så att det på ett bra sätt kan hantera de situationer som uppkommer under produktion och drift. Avtalet bör alltså ha en inbyggd flexibilitet.

Produktion

Produktion, det vill säga genomförande av entreprenaden, innebär för byggherre och entreprenör att gemensamt arbeta enligt det avtal som upprättats mellan parterna.

I produktionsfasen kommer det att visa sig hur väl byggherrens geologiska prognos och den geologiska prognos som entreprenören baserat sitt anbud på stämmer med verkligheten. Fungerar de tillämpade byggmetoderna, är bedömda mängder riktiga, är tidsåtgången för de olika aktiviteterna riktigt uppskattade, kan man uppnå avsedd kvalitet?

Det är frågor som kan besvaras under produktionsfasen och som avtalet mellan parterna måste kunna hantera.

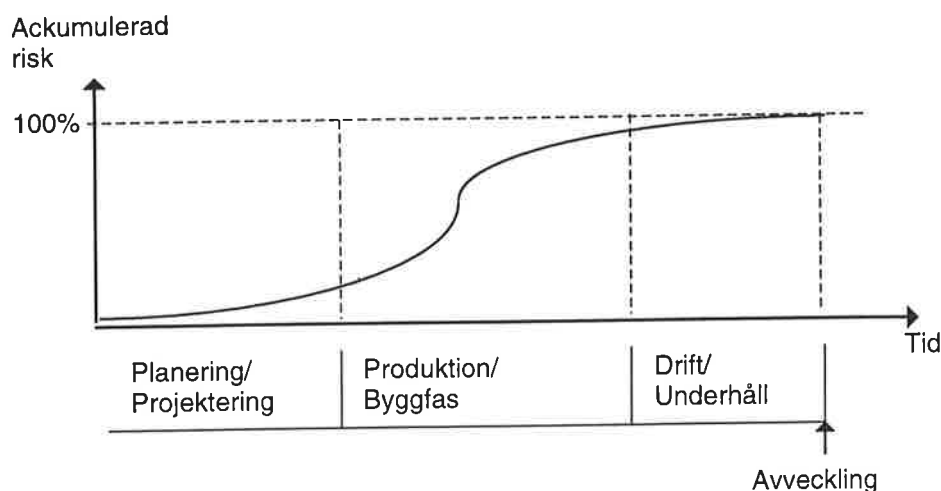
3.1.3 Produktanvändning

Drift/underhåll

I och med färdigställande av projektet så går det in i ett förvaltande skede som karaktäriseras av att driva anläggningen för avsett ändamål och vidmakthålla dess funktion genom underhållsåtgärder.

Viss tid efter färdigställande gäller entreprenörens ansvar för garantiåtaganden, enligt AB92 är denna 2 år om inte annan överenskommelse görs.

Förutom den risk som entreprenören tar i och med garantiåtagandet så kan det naturligtvis finnas andra händelser som kan inträffa och som anläggningsägaren får stå för, direkt eller via försäkringar. Denna risk som följer anläggningen ända tills den avvecklas är normalt betydligt mindre än risken varit under projektets tidigare skeden och visas principiellt enligt Figur 3.4 nedan.



Figur 3.4 Projektrisk under drift/underhåll

Avveckling

Med avveckling av en anläggning avses utrangering eller omvandling för exempelvis annat ändamål.

Utrangering av anläggningar under mark är ytterst ovanligt på grund av anläggningarnas långa livslängd och möjligheten att vidmakthålla önskade egenskaper genom underhåll.

Nedläggning av gruvor på grund av bristande lönsamhet har vi emellertid sett många exempel på i vårt land de senaste 30 åren.

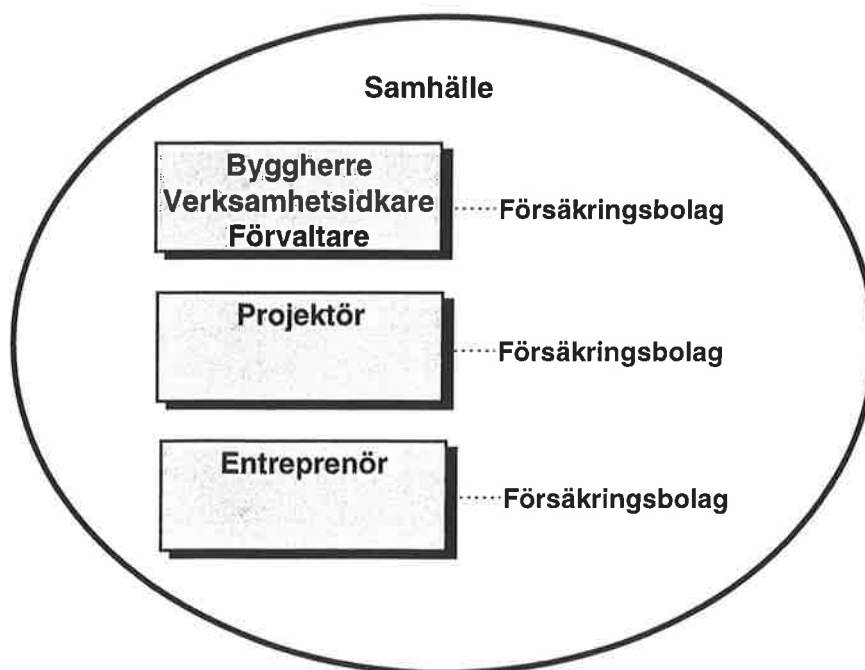
När staten på grund av minskade behov av beredskapslagring av olja säljer ut stora oljeberggrum kan vi se exempel på omvandling till alternativa användningsområden.

Total avveckling av trafiktunnlar, vattenkraftstunnlar eller andra undermarksanläggningar av åldersskäl, så som kan ske med exempelvis hus har hittills ej varit aktuellt i någon större omfattning. Den avveckling som för närvarande är aktuell avser främst fortifikatoriska anläggningar och bergumslager ursprungligen avsedda för olja.

3.2 Aktörer

Genom byggprocessens olika skeden kan tre huvudaktörer identifieras, nämligen byggherre, projektör och entreprenör. Byggprocessen påverkas av de lagar, normer och föreskrifter som regering och riksdag har stiftat på samhällets uppdrag. Härigenom är även samhället en aktör, se Figur 3.5 nedan.

Beroende av entreprenadform kan aktörerna byggherre, projektör och entreprenör ha olika stora åtaganden. Nedan presenteras aktörernas åtaganden enligt ursprungligt traditionellt arbetssätt, nämligen generalentreprenad. Vidare om olika åtaganden beroende på entreprenadform enligt följande Kapitel 3.3, Entreprenader.



Figur 3.5 Aktörer i byggprocessen

3.2.1 Samhälle - krav och påverkan

Samhället består av medborgare, stat, kommuner, företag och organisationer. Här avses emellertid den svenska staten som åtar sig en mängd funktioner, där en är att skydda och värna om sina medborgares säkerhet. Medborgarna är de som utnyttjar anläggningarna och deras intressen gällande säkerhet regleras via lagar, normer och föreskrifter.

Lagstiftningen föreskriver enligt Plan och Bygglagen (PBL) att tunnlar och bergrum som inte är avsedda för tunnelbana eller gruvdrift är bygglovspliktig verksamhet.

De tekniska egenskapskraven regleras enligt Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, mm, Byggnadsverkslagen (BVL): "Byggnadsverk som uppförs eller ändras skall, under förutsättning av normalt underhåll, under en ekonomiskt rimlig livslängd uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav i fråga om

1. bärförmåga, stadga och beständighet,
2. säkerhet i händelse av brand,
3. skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö,
4. säkerhet vid användning
5. skydd mot buller,
6. energihushållning och värmeisolering,
7. lämplighet för avsett ändamål,
8. tillgänglighet och användbarhet för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga, och
9. hushållning med vatten och avfall."

Vidare kan utläsas i Förordning (1994:1215) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, mm, Byggnadsverksförordningen (BVF) följande:

"Byggnadsverk skall vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att den påverkan de sannolikhet utsätts för under bygg- och bruksskedet inte leder till

1. ras av byggnadsverket, helt eller delvis,
2. oacceptabla större deformationer,
3. skada på andra delar av byggnadsverket, dess installationer eller fasta utrustning till följd av större deformationer i den bärande konstruktionen, eller
4. skada som inte står i proportion till den händelse som orsakat skadan."

Ovanstående text är de föreskrifter som gäller generellt för undermarksprojekt och som branschen ska följa.

Byggherren har ansvaret för att arbetena utförs enligt bestämmelserna i PBL och enligt föreskrifter eller beslut som har meddelats med stöd av lagen. Vägverket som är byggherre har valt att implementera lagar och förordningar praktiskt i byggprocessen för sina vägtunnlar genom att utfärda en "allmän teknisk beskrivning" TUNNEL 95, referens Vägverket (1995). Målet att bereda vägtrafikanterna säkra vägtunnlar säkerställer

Vägverket (1995). Målet att bereda vägtrafikanterna säkra vägtunnlar säkerställer Vägverket genom att i TUNNEL 95 ange krav och råd avseende utformning. TUNNEL 95, reglerar relativt detaljerat ett flertal aktiviteter, exempelvis att riskanalys ska utföras, vilken teknisk livslängd som gäller för olika byggnadsdelar i tunnlar, krav på luftkvalitet och vibrationer m.m. m.m. TUNNEL 95 avser även att skydda omgivningen mot skador som orsakas av tunnelprojekt, så som till exempel skadlig grundvattensänkning.

Den relativt genomgripande styrning av utformning och byggande som TUNNEL 95 innebär medför en hög säkerhetsnivå. Man ställer genom dessa regler in en lägsta kravnivå som de deltagande aktörerna har att rätta sig efter. I de fall krav och råd är styrande för själva metoden som dimensioneringen ska utföras med, istället för att ange funktionskrav, så kan det leda till en alltför kraftig styrning till den eller de fastställda metoderna. Detta kan enligt författaren leda till en stagnation av utvecklingen av alternativa metoder samt till att projektörer löser dimensioneringsproblemen "mekaniskt" och inte full ut kan tillämpa den ingenjörsmässiga kompetens de besitter.

Liksom det beskrivs att man önskar rätt kvalitet så bör man eftersträva rätt säkerhetsnivå, det vill säga säkerhetsnivån bör regleras efter behovet, jämför till exempel en motorvägstunnel med en obetydligt trafikerad 70-väg.

Ett annat åtagande är att bygga upp och underhålla en fungerande infrastruktur. Traditionellt sett har detta bekostats med skatter av olika slag. Det är medborgarnas förväntan och krav på sina representanter att detta sker på ett kostnadseffektivt sätt. Samhället i rollen som beställare eller byggherre behandlas vidare i nedanstående Kapitel 3.2.2 "Byggherre och verksamhetsidkare".

På senare tid har andra former för både planering och genomförande av infrastrukturprojekt blivit aktuella genom så kallade BOT- (Build-Operate-Transfer) och BOOT-projekt (Build-Own-Operate-Transfer). I denna form av projekt kan en privat finansiär föreslå och genomföra en infrastruktursatsning, och härigenom delvis överta den planerande rollen som samhället inledningsvis har haft i infrastrukturprojekt.

Samhället är ej speciellt benäget att ta risker som kan äventyra säkerheten och har ingen direkt anledning att vara det heller. När det gäller att bygga ut fungerande infrastruktur är det emellertid ofta ett val mellan alternativa lösningar och projekt. Detta val samt genomförande av projektet i rollen som byggherre innebär risktagande. Ett exempel på valsituation där samhället genom sina statliga verk, Banverket och Vägverket, får ikläda sig rollen som byggherre beskrivs i Kapitel 3.2.2 nedan.

3.2.2 Byggherre och verksamhetsidkare

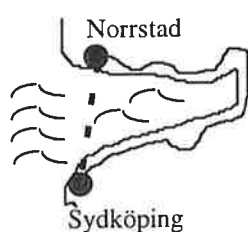
Byggherrar och verksamhetsidkare är i undermarksbyggande ofta statliga verk, stora industrier samt kommunala bolag och kommuner. Det är alltså stora tunga aktörer som står som byggherre och verksamhetsidkare av undermarksanläggningar. Exempel på anläggningar för nyproduktion eller reparation är vägtunnlar, järnvägstunnlar, andra trafiktunnlar, vattenkraftstunnlar, färskvatten- eller avloppsvattentunnlar, olika typer av industriella transporttunnlar, skyddsrum, underjordiska reningsverk etc. Det är alltså omfattande anläggningsprojekt i mångmiljonklassen.

Verksamhetsidkare har framtida behov som är upphovet till att en anläggning byggs. Förvaltarna står för drift och underhåll och bör ha en roll i samband med planering av nyproduktion eller reparationsåtgärder. Det är sedan byggherren som tolkar behoven inför nyproduktion eller reparationsåtgärder. Byggherre, verksamhetsidkare och förvaltare kan ofta vara samma företag eller person.

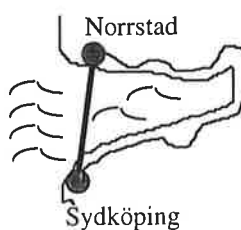
Ett exempel kan åskådliggöra valsituationen.

Problem: En vägsträckning mellan två samhällen går idag längs havet och djupt in i en vik. Vägsträckningen är smal och krokig vilket innebär hög olycksfrekvens samt lång restid. Något måste göras.

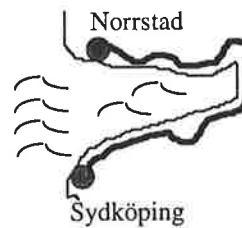
- Föreslagna lösningar:
- 1) Vägtunnel under havsbotten
 - 2) Bro tvärs över viken
 - 3) Upprustning av den befintliga vägen



Vägtunnel



Bro



Upprustning väg

Figur 3.6 Tre alternativa val för trafikomläggning

Beslutande organ i exemplet ovan måste värdera de olika parametrarna för att komma fram till vilket alternativ som är det bästa, till exempel genom viktning enligt Tabell 3.1 nedan. Detta arbete kan ofta vara komplext och svårt och kan leda till felaktiga överväganden och värderingar. Nedanstående exempel är konstruerat för att åskådliggöra valsituationen. Utvärdering av bästa val kan göras med till exempel LCC analys, se vidare Kapitel 6.

Tabell 3.1 Exempel på värdering av tre alternativ för trafikomläggning

	Tunnel	Bro	Upprustning väg
Kostnad totalt	100	120	70
Osäkerhet i kostnad	+/- 25	+/- 10	+/- 5
Risk för trafikolyckor	Liten	Liten - medel	medel
Miljöpåverkan	Liten	Liten - medel	medel - stor
Längd	12	10	30
	"Bästa val"		

Utifrån en ren kostnadsbedömning så kan vi se att förutom totalkostnaden så redovisas en osäkerhet för totalkostnaden. Byggherren har en osäkerhet i vad slutkostnaden blir, vilket är ett mått på den risk han utsätter sig för.

Målet för en byggherre är att den aktuella anläggningen färdigställs med avsedda funktioner och prestanda, i rätt tid och till avsedd kostnad.

En viktig uppgift för byggherren är att styra projektering och upphandling och beroende på entreprenadform ibland även själva byggfasen inom de ekonomiska ramar som är avsatta för genomförande av projektet, det vill säga budget. Det viktigaste i sådana sammanhang är att undvika kostnadsöverskridanden. Ett visst belopp är avsatt för att förverkliga projektet och incitamentet att komma under budget saknas ofta. Byggherren är mot denna bakgrund inte speciellt benägen att vidta åtgärder om dessa är förknippade med risker för att reducera projektkostnaden i förhållande till budget. Omvänt så kan det förväntas en betydligt villigare inställning till vidtagande av åtgärder som är förknippade med risktagande för att undvika kostnadsöverskridanden.

3.2.3 Projektör

Projektören är den som utformar och konstruerar anläggningen. Beroende av vilken entreprenadform som väljs är projektören knuten antingen till byggherren eller till entreprenören. Personen/-erna som utför projekteringen kan vara byggherre, konsult placerad hos byggherren, konsult placerad hos entreprenören eller entreprenören själv. I detta avsnitt avses generalentreprenad vara den aktuella entreprenadformen vilket innebär att projektören är byggherren själv eller en konsult som jobbar åt byggherren.

Målet för en projektör bör i princip vara detsamma oberoende av om han är byggherre, entreprenör eller konsult, men tyngdpunkten kan vara olika fördelad. Några av de principiella mål som en projektör har är att:

- uppfylla samhällets krav
- skapa en funktionell anläggning
- uppnå bästa prestanda
- välja material och utformning som säkerställer lång beständighet
- utforma anläggningen så att den är gynnsam utifrån underhållssynpunkt
- optimera kostnaden
- utforma anläggningen så att den går att bygga rationellt.

Här bör noteras att kostnadsoptimeringen i vissa fall kan innebära att man vill göra avsteg från till exempel målet med lång beständighet.

Om projektören är konsult så är hans mål att uppdragsgivaren är nöjd och att göra ett bra ekonomiskt resultat i uppdraget som projektör. Det är för konsulten mycket viktigt att skapa en god relation med sin uppdragsgivare, att betraktas som seriös rådgivare och erhålla och underhålla ett bra rykte. Konsulten kan därför vara benägen att undvika risker och välja lösningar ”på säkra sidan” som inte nödvändigtvis leder till lägsta kostnaden.

3.2.4 Entreprenör

Entreprenören är producent och bygger anläggningar.

Målet, att uppnå ekonomiskt goda resultat i sina uppdrag är tydligt. Aktieägarna förväntar sig en god avkastning på insatt kapital idag, men också på längre sikt.

Naturligtvis värnar entreprenören också om sin långsiktiga verksamhet, så ryktet är viktigt. Det är därför nödvändigt för entreprenören (liksom för konsulten) att skapa en bra relation till byggherren genom att bygga en bra anläggning och att skapa ett positivt, konstruktivt arbetsklimat.

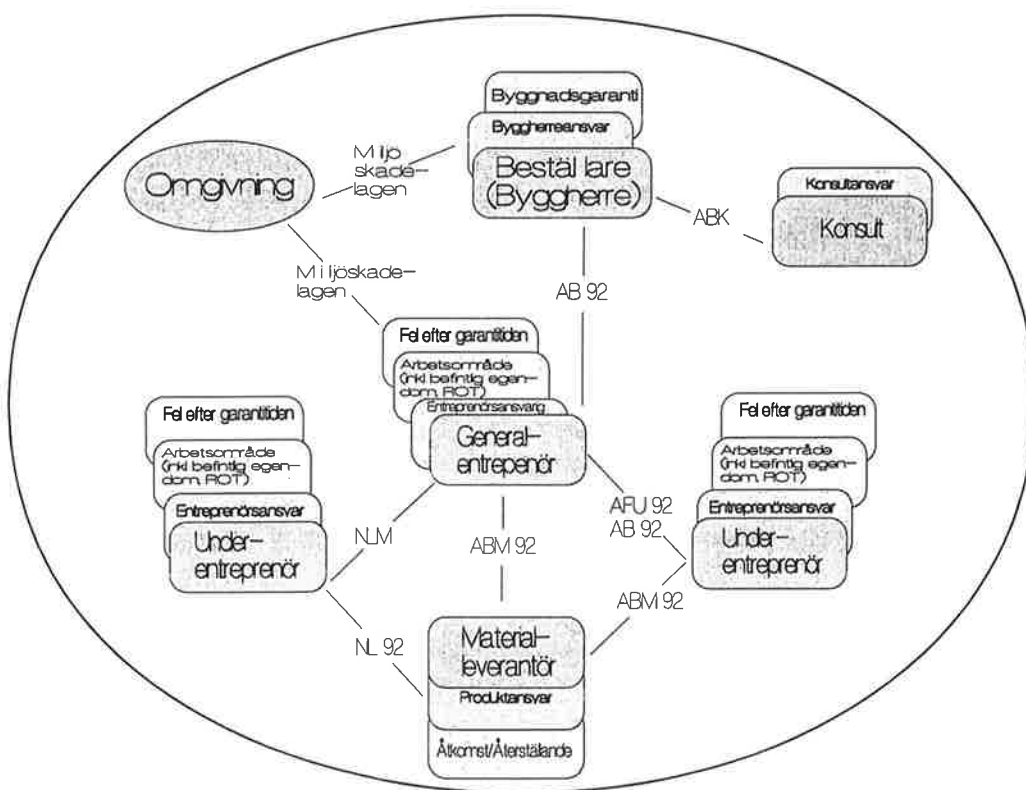
Avseende riskbenägenhet så uppfattas entreprenören vara den av aktörerna som är mest riskbenägen som ett medel för att göra ett bra resultat.

Uttrycket ”han är en entreprenörstyp” har av författaren uppfattats vara liktydigt med någon som satsar helhjärtat på uppgiften, ser möjligheter snarare än hinder och därför är beredd att ta risker.

3.2.5 Försäkringsbolag

Svenska försäkringsbolag kan ta risken för skador som uppstår i en anläggning genom försäkringar. Svenska försäkringar ersätter person-, sak-, och förmögenhetsskada som på ett eller annat sätt kan vara orsakat av anläggningsarbeten eller drift av anläggningen. Utomlands finns det emellertid även möjlighet att försäkra sig mot affärsrisken. Exempel på en affärsrisk kan vara en kraftig fördyring av ett undermarksprojekt på grund av att en svaghetszon som ej var känd försvårar arbetena. Här behandlas svenska förhållanden.

De försäkringar som är aktuella för branschen är ansvarsförsäkring och egendomsförsäkring. I ett anläggningsprojekt finns en mängd avtal mellan aktörerna. Figuren 3.7 nedan är en schematisk bild över aktörer inom ett projekt, de avtal som de kan ha sinsemellan och den typ av försäkring som kan vara aktuell för respektive aktör.



Figur 3.7 Aktörer, avtalsförhållande och försäkringsskydd, efter Skandia (1993)

Målet för försäkringsbolagen är att tjäna pengar genom premieintäkter och att täcka sina risker via återförsäkring på den internationella marknaden. Genom riskspektion och ibland begäran om extra undersökningsinsatser vilket är mycket ovanligt, vibrationsmätningar eller dylikt så avses risken kunna bedömas. Det förekommer även att risken värderas och premien sätts efter "största tänkbara skada" på anläggningen.

Försäkringsbolagen är ej så riskbenägna som man inledningsvis kan uppleva det. Deras roll är att sprida risker till flera parter genom försäkringar. Analys av risker i undermarksprojekt är svårt, dels med tanke på det relativt begränsade antal anläggningar som byggs vart år och dels på grund av den geologiska miljön som varierar för de olika anläggningarna. Det kan vara en förklaring till att försäkringsbolagens analys av risker i undermarksprojekt ibland upplevs vara mycket begränsade. Genom att gå ut på den internationella återförsäkringsmarknaden har de möjlighet att återförsäkra sig i andra försäkringsbolag eller genom andra konsortier, och på så vis sprida sina risker.

3.3 Entreprenader

Ansvar, och därigenom den risk som de olika aktörerna tar på sig för genomförande av undermarksprojektets olika faser regleras genom den entreprenad- och ersättningsform som byggherren har valt.

3.3.1 Entreprenadformer

Reglering av byggherrens respektive entreprenörens åtaganden beror delvis av vilken entreprenadform byggherren valt för undermarksprojektet. De olika entreprenadformerna nedan kan varieras till ett flertal mellanformer och nya varianter tillkommer med tiden. Nedanstående presentation av entreprenadformerna är på en grundläggande nivå. Mer omfattande beskrivningar av delad entreprenad, generalentreprenad samt totalentreprenad finns i litteraturen, två förslag är Råsled (1990) och Avén (1981b).

Delad entreprenad

Byggherren tar fram och ansvarar för detaljbekrivning av produkten, det vill säga projektering och genomförande av förundersökningar.

Entreprenadformen kännetecknas vidare av att flera olika entreprenörer, en huvudentreprenör och en eller flera sidoentreprenörer, har avtal direkt med byggherren och alltså inte med varandra.

Byggherren svarar för samordningen mellan entreprenörerna.

I denna entreprenadform styr beställaren i detalj och har avtal med projektör, huvudentreprenör och en eller flera sidoentreprenörer.

Generalentreprenad

Vid generalentreprenad ansvarar byggherren för detaljbekrivning av produkten, det vill säga projektering och förundersökningar, och utförande av dessa. Viss färdigprojektering av entreprenören kan förekomma.

En entreprenör, den så kallade generalentreprenören, har avtal med byggherren för utförande av anläggningsarbetena. Generalentreprenören har i sin tur avtal med en eller flera underentreprenörer. Samordningen mellan de olika entreprenörerna utförs av generalentreprenören.

I generalentreprenaden har byggherren i princip två avtal, ett med projektören och ett med generalentreprenören.

Totalentreprenad

Byggherren ansvarar för programhandlingar medan entreprenören genomför projekteringen och produktion. I byggherrens åtagande ingår traditionellt att genomföra förundersökningar och förprojektering eller liknande som underlag för upphandlingen. Entreprenadformen innebär enligt Råsled (1990) en långt gående integration inom projekteringsskedet och mellan olika entreprenörer i produktionsskedet. Den fördel som framhålls med denna entreprenadform är integration mellan projektering och produktion som möjliggör optimerade lösningar.

Byggherren har avtal med en part, nämligen entreprenören.

Funktionsentreprenad

Funktionsentreprenad är en relativt ny entreprenadform i Sverige och har hittills kommit till användning vid vägbyggnad och underhåll. Någon egentlig funktionsentreprenad för undermarksprojekt har ännu ej genomförts i vårt land.

Ett viktigt mål med funktionsentreprenader är att genom incitament för entreprenören få denne att närma sig byggherrens mål. Eftersom entreprenören står för underhållskostnaden under en förlängd garantitid är det intressant för honom att bygga så att denna blir låg.

En jämförelse mellan byggbranschen och övriga industriella branscher visar enligt Grennberg (1995) att man inom entreprenadföretagen satsar huvuddelen av sin FoU (81%) på utveckling av byggprocessen medan man i övriga branscher lägger det mesta av sin FoU (90%) på utveckling av produkterna. Med de traditionella entreprenadformerna utdelas ingen belöning för utveckling av slutprodukten. Med formen för funktionsentreprenad så fokuseras det på slutprodukten. Genom att beställaren i princip ej äger rätt att ta del av entreprenörens tekniska lösning utan, i fallet med vägbyggnad, köper ett "trafikutrymme", kommer entreprenadformen att möjliggöra för entreprenörerna att kunna behålla sina affärshemligheter och därmed få långsiktig utdelning på pengar som de satsar på FoU av slutprodukten. Entreprenören måste emellertid lämna vissa upplysningar till beställaren, till exempel sådant som är av betydelse för

säkerheten. För vägbyggnad gäller detta överytans utformning och vid entreprenadens slut uppgifter av betydelse för underhållet.

I korthet kan funktionsentreprenad beskrivas enligt nedan, se vidare Grennberg (1995) och Falk (1995):

1. Byggherren anger funktionskraven hos det som ska byggas, till exempel ett trafikutrymme med vissa mått, visst läge och med vissa specificerade egenskaper som till exempel vägbanans jämnhet, friktion och belysning.
2. Entreprenör utses att konstruera och bygga anläggningen som uppfyller kraven och har beställda egenskaper.
3. Efter överlämnandebesiktning sköter entreprenören underhållet under kvarvarande del av entreprenadtiden vilket kan vara i storleksordningen 5-7 år. Under denna tid sköter och bekostar entreprenören alla åtgärder som behövs för att de byggnadstekniska funktionerna ska uppehållas.
4. Vid entreprenadtiden slut görs en avlämnandebesiktning varvid det kontrolleras om funktionskraven är uppfyllda och en slutuppgörelse träffas. Om funktionerna är bättre än vad som avtalats får entreprenören en bonus och om de är sämre görs ett avdrag på kontraktssumman.

Vid kontraktsskrivning skrivs, enligt Johansson (1993), att entreprenören tar över ansvaret för befintliga förhållanden. Detta innebär ansvaret för såväl tidigare genomförda geotekniska undersökningar och befintligt kartmaterial som för de åtgärder som måste vidtagas på grund av senare framkommen information om aktuella förhållanden. I praktiken skulle det vid tillämpningen undermarksbyggande innebära att entreprenören tar ansvar för bergmassans beskaffenhet, vilket är ett mycket långtgående ansvar och ett stort risktagande för entreprenören.

Centralt för denna entreprenadform är att kraven som ställs måste vara mätbara för att byggherren ska kunna avgöra om han erhållit den produkt som han beställt. För att få genomslagskraft för denna entreprenadform i undermarksprojekt måste en del frågor som är speciella för branschen först lösas.

Ett konstruerat exempel för att åskådliggöra en situation, efter Olsson (1996):

Ett tunnelprojekt har ett täthetskrav enligt vattendom som är 2 l/min/100m tunnel. Under entreprenaden är det ovanligt nederbördsfattigt och entreprenören kan utan problem uppfylla de krav som ställts på inläckning. Efter slutuppgörelsen och underhållstid är det mer normal nederbörd vilket i detta fall leder till en inläckning på 4 l/min/100m tunnel vilket överstiger de tillåtna värdena. Eventuella skadeståndskrav får byggherren stå för eftersom slutuppgörelsen är avklarad.

Situationen ovan skulle kunna lösas om byggherren förmår att utforma sina krav med målet att klara den maximalt den tillåtna 2 l/min/100m tunnel vid normal nederbörd även om det under entreprenadtiden är liten nederbörd. Att göra denna bedömning innebär ett risktagande för byggherren.

Entreprenören utsätter sig för risk som är annorlunda än i de andra entreprenadformerna i och med systemet med avdrag för sämre funktion respektive bonus för bättre funktion än avtalat. Att behöva ta ansvaret för bergmassans beskaffenhet är unikt och innebär ett stort risktagande för entreprenören på grund av den osäkerhet för projektets omfattning och utfall detta kan innebära. Denna situation kommer troligtvis att innebära ett ökat intresse från entreprenörernas sida att följa de geologiska förundersökningarna.

Sammanfattning av entreprenadformer

För att ge en överblick över de olika entreprenadformerna har vi försökt att sammanfatta de olika parternas ansvar i nedanstående Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Sammanfattning av aktörernas ansvar vid olika entreprenadformer

B = Byggherre, E = Entreprenör

Entreprenadform	Produktbestämning				Produktframställning	Produktanvändning	
	Idé	Program, planering	Förundersökning	Projektering		Underhåll/rep.	Drift
Delad	B	B	B	B	E	B	B
General	B	B	B	B	E	B	B
Total	B	B	B/E	E	E	B	B
Funktion	B/E (1)	B/E (2)	B/E (3)	E	E	E/B (4)	B

Noter:

- (1) Funktionsentreprenader kan skapa incitament för E att lägga fram projektförslag.
- (2) Består av underlaget för funktionsentreprenaden.
- (3) E övertar ansvaret för utförda förundersökningar.
- (4) Funktionsansvar under förlängd garantitid för E innebär att underhåll är E's ansvar.

3.3.2 Ersättningsformer

Liksom med entreprenadformer så finns inom branschen många olika varianter på några ursprungliga former för ersättning. Här redovisas de rena ersättningsformerna utan att ta upp olika varianter på temat.

Självkostnadsprincipen

Vid självkostnadsprincipen, även kallad löpande räkning, får entreprenören ersättning för sina verifierade självkostnader. Ersättningen baseras på en kostnadsredovisning från entreprenörens sida under förutsättning att byggherre och entreprenör är överens om att det utförda arbetet är av den typ som ska ersättas. Ersättning för administration och vinst tillkommer, oftast som en procentsats på beloppet.

Å-prisersättning

Å-prisersättning benämns även mängdkontrakt. Baserat på en hypotetisk mängd-förteckning från byggherren har entreprenören angivit ett å-pris för material och arbete. Ersättningen utgår efter utförda mängder med det tidigare överenskomna å-priset. Administration och vinst kan ligga i å-priset eller läggas på i efterhand.

Ersättning enligt avtalade å-prislistor är allmänt förekommande i branschen. Denna ersättningsmodell ger entreprenören vinstmöjligheter beroende på hur priset sätts, här finns ett visst risktagande.

Byggherren har möjlighet att i förväg kalkylera olika scenarios med varierande mängder och har genom å-prissättningen ändå bundit upp entreprenören till visst pris.

Ersättningsformen skapar ett visst handlingsutrymme för att göra en bra vinst för entreprenören samtidigt som det är en flexibel betalningsform som kan anpassas till de verkliga förhållanden som råder.

Fast-prisersättning

Ersättning till fast pris innebär att entreprenören ska utföra anläggningen till det på förhand bestämda slutpriset (anbudspriset) även om kostnaderna överstiger de förväntade. Då ändringar eller tillägg förändrar omfattningen så regleras det fasta priset i motsvarande grad.

Denna ersättningsform används sällan för undermarksprojekt på grund av att jord- och bergförhållandena inte är tillräckligt kända. Risktagandet för entreprenören anses vara för stort och som nämnts tidigare så kan svenska försäkringsbolag ej gå in och täcka denna typ av risker.

Incitamentsavtal

Ersättning med incitament finns i flera olika former, vara kostnadsincitament är den vanligaste. För andra former av incitament, se Råsled (1990).

Beställare och entreprenören kommer överens om en beräkning av slutkostnaden enligt självkostnadsprincipen, jämför avsnitt 3.3.2.1. Den överenskomna kostnaden är den så kallade riktkostnaden. Den verkliga slutkostnaden enligt självkostnadsprincipen jämförs med riktkostnaden. Är självkostnaden högre eller lägre än riktvärdet så regleras entreprenörens arvode upp eller ner enligt avtalade proportioner. Exempelvis kan man ha avtalat 75/25, det vill säga byggherren tar 75% och entreprenören 25% av kostnadsökningen respektive kostnadsreduktionen.

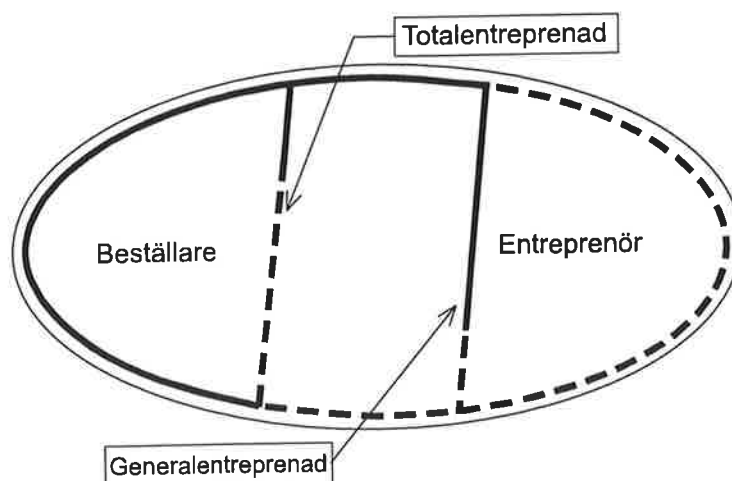
Liksom vid fast pris så innebär osäkerheterna under mark att det är mycket svårt att bestämma ett förväntat slutpris, det så kallade riktpriiset.

3.3.3 Ansvarsfördelning

Olika entreprenadformer innebär mer eller mindre ansvar eller risktagande för byggherre respektive entreprenör. Det finns dock vissa åtaganden som respektive aktör alltid ansvarar för oavsett vilken entreprenadform som väljs.

Byggherrens obligatoriska ansvar, oavsett entreprenadform, bör vara att ställa upp funktionskrav och kvalitetskrav samt att ta ansvar för bergmaterialets beskaffenhet. I en renodlad funktionsentreprenad tar emellertid entreprenören ansvar för bergets beskaffenhet. Entreprenören å sin sida har alltid ansvar för arbetarskydd och själva utförandet.

”Riskägget”, Figur 3.8 nedan, beskriver hur risken i projekt kan förskjutas mot eller från entreprenören beroende på kontraktsform. Projektets totala risk innesluts av den ovala figuren, och en förskjutning av hur stor risk respektive aktör tar åskådliggörs av den yta de har på sin sida. Som nämnts tidigare kan hela risken aldrig skjutas över på den andra aktören, utan vissa obligatoriska ansvarsområden kvarstår. Den centrala zon som utgör utrymmet för riskfördelning utgörs i princip av metoder och åtgärder. I fallet generalentreprenad är det byggherren som ska ange vilka metoder som ska användas för att bygga, samt även att ange vilka åtgärder som ska tillgripas vid olika händelser, planerade eller oplanerade.



Figur 3.8 "Riskägget" beskriver riskfördelning med hänsyn till entreprenadform

3.3.4 Byggherrens val av entreprenadform

Innan byggherren gör sitt val av entreprenadform har han många faktorer att väga in i sitt ställningstagande. Vissa byggherrar har tagit principbeslut för vilken entreprenadform som passar bäst för deras organisation och med deras typ av projekt.

För olika typer av anläggningsobjekt kan man identifiera varierande grad av koppling mellan anläggningens konstruktion (*dess utformning*) och utförande (*hur den byggs*). Denna koppling kan avgöra vilken entreprenadform som bör väljas för entreprenaden i fråga.

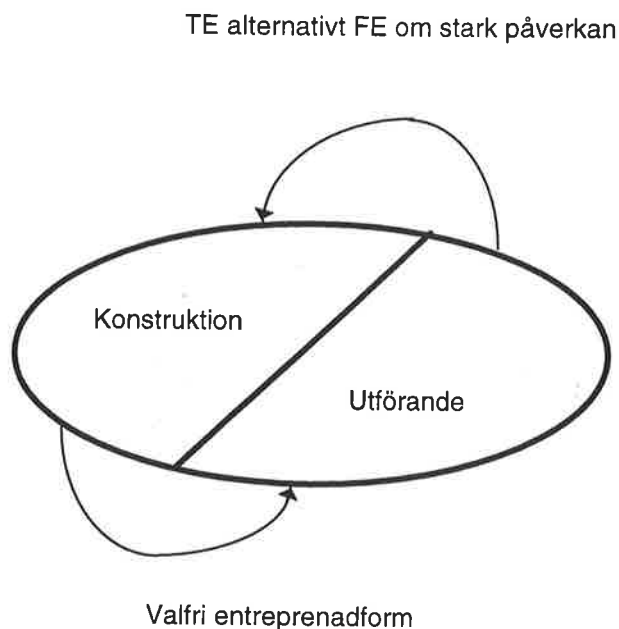
För att förklara så exemplifierar vi med följande fall, jämför Figur 3.9 nedan:

Fall 1. Brobyggnad är en form av anläggning där förutsättningarna på plats påverkar hur bron kan byggas. En bro över en djup och relativt bred ravin kan byggas med pyloner och en brobana som hänger i vajrar. Kortare broar kan färdigställas i en sektion på ena sidan för att sedan skjutas över och anslutas mot motsatta sidan.

Utförandet styr i dessa fall konstruktionens utformning och innebär att byggmetod och dimensionering är integrerade. Detta leder till att totalentreprenad (TE) alternativt funktionsentreprenad (FE) är lämpliga entreprenadformer i detta fall.

Fall 2. Vid utförande av en vattenkraftsanläggning styr själva utförandet inte konstruktionen utan där finns en frihet och flexibilitet. Det är i stället konstruktionen som påverkar utförandet.

I detta fall är valet av entreprenadform inte styrt på samma sätt som i fallet ovan, utan här kan entreprenadform väljas utifrån andra aspekter.



Figur 3.9 Påverkan mellan konstruktion och utförande som grund för val av entreprenadform

Andra faktorer som har stor betydelse för valet av entreprenadform är:

- byggherrens kompetens
- anläggningens komplexitet
- konsekvens av fel
- garantier och risktagande
- påverkan mellan konstruktion och utförande.

För- och nackdelar för byggherre och entreprenör beskrivs sammanfattande i nedanstående tabell.

Som exempel på byggherre som har valt en typ av entreprenadform kan nämnas Stockholms Lokaltrafik - SL som generellt väljer generalentreprenad. De bygger mycket, är vana byggherrar med lång erfarenhet och stor kompetens och kan därigenom styra arbetet mot den produkt de önskar.

För broar följer Vägverket sin allmänna tekniska beskrivning Bro-94. De föredrar ofta TE för broar, jämför Figur 3.9 ovan.

Tabell 3.3 För- och nackdelar med olika entreprenadformer (B = byggherre, E = entreprenör, UE = underentreprenör)

Entrep.-form	Fördelar byggherre	Nackdelar byggherre	Fördelar entreprenör	Nackdelar entreprenör
Delad	*Tekniskt kompetent B får den prod. han vill ha *Stor påverkan *Inköp av olika entreprenaddelar till bästa anbud *B väljer samtliga entreprenörer	*Resurskrävande för B att handla upp *Resurskrävande samordning under byggske	*Begränsat risktagande	*Leder till fler men mindre omfattande jobb *Minskad flexibilitet vid oplanerade händelser
General	*Tekniskt kompetent B får den prod. han vill ha *B avtal endast med en E	*B ej inflytande på UE	*Möjlighet att optimera produktionsapparaten *Begränsat risktagande	*Begränsad möjlighet att använda för E optimala byggmetoder
Total	*Långt gående integration med produktionsanpassning *Totaloptimering *Får större del av Es erfarenhet och kompetens avs. utförandemetod	*Svårare alt. dyrare att påverka utformning och materialval *Det kan finnas material/produkter som ej kan köpas p g a UE uppbundna till specifik E *Begränsad krets E som kan lämna anbud	*Integration av projektering och produktion kan ge betydande konkurrensfördel *Kontraktsvolym större då E ansvarar för all samordning	*Ökat risktagande *Vissa UE kan vara uppknutna till en specifik E
Funktion	*Bs och Es mål likartade *Enklare och säkrare former för upphandling *Utnyttjar E's erfarenhet även avseende konstruktion och slutlig utformning *Incitament för idé-givare av bra slutprodukt=>nya lösningar *Lång garantitid *Lägsta livslängdskostnad vid god konkurrens mellan E	*Långtgående åtagande av E, varför val av "fel" E kan få stora konsekvenser *Om E har bristande kunskap om underhåll så sämre lösningar *Vem har ansvar mot tredje man? *B kan få betala överpris för att E tar ökad risk *B får ej hela tekniska lösningen av slutprodukten *Minskad konkurrens. Större E får konkurrensfördelar	*Konkurrens med projektering och produktion. Möjligt med patent *Större påverkan hur och när utföra *Möjlighet göra större vinster *Ökad produkt- och metod-utveckling *Utvecklar branschen *Es resurser samverkar	*Ökat risktagande p g a övertagande av ansvar för befintliga förhållanden *Ökat risktagande p g a åtagande av underhåll och funktion under längre garantitid

4 RISKER I UNDERMARKSPROJEKT

4.1 Inledning

Undermarksprojekt är en typ av byggverksamhet som upplevs vara behäftad med stora risker. Det är därför önskvärt att strukturerat gå igenom och analysera vad som är stora osäkerheter i projektet, både rent fysiskt men även på det juridiska och administrativa planet. Geologiska osäkerheter och hur dessa kan hanteras behandlas av Sturk (1996). Föreliggande kapitel avser att identifiera och diskutera andra typer av risker kopplade till kontrakt, organisation etc. för de olika aktörerna. Några av de mera centrala begreppen från Kapitel 2 med exemplifiering beskrivs inledningsvis.

4.1.1 Några centrala begrepp

Risk används här i betydelsen, se Kapitel 2, som "förväntad konsekvens" eller "förväntad förlust av nytta", vilket avser ekonomisk konsekvens eller ekonomisk nytta. Risk som avser personsäkerhet behandlas och uttrycks i ekonomiska termer. Följaktligen kommer den skada som drabbar en aktör att vara ekonomisk förlust.

Nästa begrepp som är viktigt att åskådliggöra är skadehändelse. Betydelsen av skadehändelse är den händelse som resulterar i skada, det vill säga en ekonomisk förlust för en aktör. Ett exempel på skadehändelse kan vara ras i en tunnel, som resulterar i skadan ekonomisk förlust.

Två andra centrala begrepp är initierande händelse respektive utlösande händelse, som båda föregår själva skadehändelsen. Definitionen för den initierande händelsen lyder som följer: den inledande händelsen i händelseförloppet som så småningom utlöser ett skadeförlopp. Den utlösande händelsen definierar vi som: en händelse som utlöser ett skadeförlopp. Exempel på utlösande händelser i undermarksprojekt är oförsiktig bergschaktning eller att driften ej går så fort som entreprenören antagit, och båda startar skadehändelser som leder till en skada, det vill säga ekonomisk förlust. I nämnda exempel innebär då schaktningsarbetena den initierande händelsen medan oförsiktigheten i schaktningsarbetena är den utlösande händelsen.

Ett centralt begrepp som bör belysas ytterligare är riskobjekt. Enligt definitionen i Kapitel 2 är riskobjekt ett objekt som innehåller faror som kan förorsaka skadehändelser. Vidare definieras fara som ett hot om en möjlig skadehändelse/olycka och ska betraktas som en inneboende egenskap hos ett riskobjekt.

Organisationen som ska genomföra ett undermarksprojekt kan betraktas som ett riskobjekt och innehålla faror. Tekniskt relaterade faror som förekommer är mer uppenbara och de försöker man ofta behandla på ett eller annat sätt, medan man bortser ifrån att en organisation som inte är ändamålsenlig i hög grad kan påverka utfallet och innebära en fara.

Ett tydligt exempel på riskobjekt i undermarksbyggande är själva bergmassan som kan vara instabil och rasa, se vidare Sturk (1996). Ett annat den maskinella. Vi kan till exempel tänka oss en dräneringspump som ej fungerar i samband med tunneldrivning djupt under en sjö eller hav (exempelvis Äspö-laboratoriet, referens Hammarström (1996)). Konsekvensen om man går in i en vattenförande zon kan då vara att tunneln mer eller mindre vattenfylles vilket leder till skadehändelsen "mycket vatten i tunneln". Skadan är "ekonomisk förlust".

Andra riskobjekt är mindre uppenbara men är väl så betydelsefulla när det gäller att identifiera vad som kan orsaka ekonomiska förluster i ett projekt. Ett riskobjekt är kontraktet mellan beställare och entreprenör i dess funktion att reglera vad entreprenören får ersättning för. Ett annat riskobjekt är entreprenörens kalkyl för projektet, som ger underlag för att bestämma kontrakterade à-priser. Nedanstående Tabell 4.1 visar de redovisade definitionerna tillämpade i några exempel inom undermarksbyggande.

Tabell 4.1 Risker inom undermarksprojekt - några valda exempel

Riskobjekt	Projektering	Kalkyl	Kontrakt	Kontrakt	Organisation	Bergmassan	Vattenpump
Fara	Otillräcklig ingenjörskompetens	Överoptimism	Paragraf om ansvar för avvikelser	Paragraf om ansvar för avvikelser	Befattnings- beskrivning	Flowing ground	Svag utrustning
Händelse (utlösande)	Byggherren accepterar konstruktionen	Driften går ej så fort som antagits	Brister/fel i förundersök- ning	Brister/fel i förundersök- ning	Fel beslut	Tunneluttag	Dålig skötsel
Skadehändelse	Överdimen- sionerad konstruktion	Å-priser håller ej	E får igenom oförutsedda krav	E får ej igenom de krav han anser sig kunna ställa enligt kontraktet	Ras	Fylld tunnel	Mycket vatten i tunneln
Skada	Ek. förlust	Ek. förlust	Ek. förlust	Ek. förlust	Ek. förlust	Ek. förlust	Ek. förlust
Skadeobjekt	Byggherre	Entreprenör	Byggherre	Entreprenör	B alt. E	Entreprenör	Entreprenör

4.1.2 Typiska riskobjekt och tillhörande faror

Identifiering och beskrivning av riskobjekt och deras inneboende faror som kan leda till skadehändelse och kan innebära en negativ ekonomisk konsekvens har bland annat framkommit vid intervjuer/diskussioner med personer i branschen. Riskobjekt av stor betydelse är enligt intervjuerna:

- Entreprenadkontraktet
- Organisationen
- Geologin
- Byggtekniken
- Finansieringen

Enligt Blockley (1994) kan det mesta arbete som utförs karaktäriseras som antingen tekniskt eller mänskligt och organisatoriskt. Det har enligt Blockley fastlagts att misslyckanden inom ingenjörsarbete är en kombination av de två typerna, och han menar att det ligger i ett tekniskt-socialt gränssnitt. Det är därför viktigt att även ta med organisationsfrågor då ett projekt studeras och bedöms.

Faror med anledning av finansiering och utlösande händelser som till exempel valutaförändringar, räntor etcetera behandlas ej i föreliggande rapport.

I följande avsnitt redovisas respektive riskobjekt med tillhörande väsentliga faror.

Kontraktet

Fördelning av riskerna inom projektet sker till stor del genom kontraktet, det vill säga genom val av entreprenadform, ersättningssystem och parternas ansvar mm. Kontraktet bör fördela risker, ansvar och åtaganden på ett rättvist sätt med ett direkt samband mellan insats och belöning. Den kontraktuella risken upplevs som förhållandevis stor eftersom det är en stor fara om ena parten tvingas ta på sig mer ansvar än vad som ersätts i kontraktssumman.

Ett "dåligt" kontrakt har ofta den bristen att den ena parten får för stora åtaganden utan att det regleras ekonomiskt rättvist. Denna situation leder till att en part blir missnöjd och som följd kanske missköter eller försöker dra sig ur sina åtaganden. En sådan situation har därför goda förutsättningar att leda till tvist mellan parterna.

Inför kontraktsarbetet är det mycket viktigt att ha kunnat förutse förekomsten av projektfaror och att möjliggöra reglering av till exempel mängder och metoder efter den uppkomna situationen. Inom undermarksprojekt är det vanligt med avvikelser mellan de geologiska förutsättningarna som presenteras i förfrågningsunderlaget och de verkliga förhållandena som blir kända i produktionsfasen. Kontraktet ska då kunna reglera dess förändringar på ett bra sätt.

Oklarheter eller ofullständiga kontrakt är också ofta orsaken till tvist mellan parterna.

Det upplevs att kontraktsfrågor har blivit viktigare på senare tid och att det framöver blir en allt viktigare fråga, en trend som kan bero på den ökade internationaliseringen inom branschen. I USA är det exempelvis mycket vanligt att projekten avslutas med tvist i domstol.

En central del i kontraktet är de överenskommelser avseende ekonomi och tid för projektets genomförande som parterna ingått. Överenskommelsen baseras på de anbud som lämnats och är ett resultat av kalkylering av kostnad och tid.

Väsentliga faror i samband med kontrakt kan sammanfattas i följande punkter:

- oklarheter
- motsägelser
- oreglerad överföring av ansvar från en part till en annan
- bevisbörda avseende brister och fel i relation till kontraktet.

Kalkylen som ligger till grund för offerten kan i sin tur vara oprecis eller felaktig på grund av optimism/pessimism, osäkert underlag etcetera.

Organisationen

Med organisatoriska faror avses faror orsakade av projektorganisationens uppbyggnad och personalens agerande i olika situationer och som kan leda till skada för projektet. En väl fungerande organisation med kompetent personal genom ett projekts olika faser ökar möjligheten att genomföra projektet framgångsrikt. Kvalitetsarbetet är mycket viktigt för att kunna hantera organisatoriska faror.

För att möjliggöra riktigt och rationellt bergbyggande i anläggningsprojekt skapas en organisation bestående av personal med olika kompetenser. Varje person har en specificerad uppgift som han ska behärska och sköta. Några centrala funktioner i organisationen kan vara att:

- mäta och prognostisera bergmassan
- vara informationsbärare
- rekommendera åtgärder
- besluta om åtgärder
- leda arbetet
- utföra själva tunnelarbetet
- dokumentera.

Eftersom arbetet med att bygga en undermarksanläggning är ett resultat av samverkan mellan människor med olika funktioner så behövs varje "länk" i kedjan för att slutföra projektet på ett önskvärt sätt. Förutom tekniska faror, som är mer uppenbara, så kan en organisation som ej är ändamålsenlig, i hög grad påverka utfallet och innebära en fara i bergbyggnadsprojekt.

Några exempel på övergripande organisatoriska faror:

- Bristande kompetens.
Exempel: Byggherren genomför en undermålig upphandling på grund av bristande kompetens. Det kan leda till långsiktiga problem av olika slag.
Exempel: Entreprenören tar beslut på för låg nivå.
- Otydlig rapportering.
Exempel: Projektören har ej handlingar för myndighetsprövning framme i tid vilket kan resultera i försening av hela projektet.
Exempel: Beställarens övergripande godkännande av förändring av förstärkningsprinciper kan orsaka försening. Rutinerna kanske inte är anpassade till projektets genomförande.
- Otydliga ansvarsgränser/samarbetsproblem.
Exempel: Entreprenören eller byggherren har ej löst ansvarsfördelningen inom sina respektive ansvarsområden. Därigenom försvåras kommunikationen inom organisationen, mellan entreprenören och byggherre och andra. Det kan resultera i försämrat samarbetsklimat inom organisationen och mellan parterna.
- Praxis.
Exempel: "Så här har vi alltid gjort" oavsett att man befinner sig inför ett helt nytt problem.

Geologi

Jord- och bergmassan utgör riskobjekt och innehåller olika geologiska byggfaror. I idé- och planeringsstadiet upplevs de geologiska riskerna som betydande för byggherren på grund av att de geologiska förhållandena i projektets inledande faser ofta är dåligt kända. Genom ett bra förundersökningsprogram och annat förarbete kan osäkerheten avseende de geologiska förhållandena begränsas och kontrakt upprättas.

Jord- och bergmassan kännetecknas av komplexa förhållanden men man har också en förhållandevis liten materialkännedom om dessa, vilket resulterar i att även de skadehändelser som är förknippade med geologiska risker är komplexa, enligt Sturk (1996). Komplexiteten i kombination med det faktum att det statistiska underlaget är högst begränsat innebär svårigheter att åsätta sannolikheten för en geologisk skadehändelse, exempelvis för ett skred eller ett tunnelras. Konsekvensen, vanligen i form av en kostnad på grund av en händelse, är också svår att uppskatta.

Byggteknik

Faror relaterade till riskobjektet byggteknik avser de tillämpade byggmetoderna och den tekniska utrustningens lämplighet och kan som exempel förknippas med:

- Injekteringens effektivitet.
- Förstärkningsmetodens funktion och tillämpning
- Salvlängden i relation till bergets stabilitet och hydrogeologiska förhållanden.
- Pumpkapacitet för dräneringspumpar.

Specifika frågor om metodval och byggteknik för undermarksbyggande i dåligt berg behandlas av Isaksson (1995).

4.2 Risker ur byggherrens synvinkel

Byggherrens mål med ett undermarksprojekt är att få anläggningen till stånd med rätt kvalitet, till rätt kostnad och i tid samt att även kunna driva och underhålla den på effektivt sätt. Att driva projekt är en process som alltid utsätts för påverkan i olika riktningar, såväl medveten påverkan från projektdeltagarna som påverkan utifrån geologiska förutsättningar, kontraktet mellan beställare och entreprenör, projektets organisation och omgivning i till exempel stadsmiljö.

Drift och underhåll behandlas i Kapitel 4.6.

4.2.1 Faror

Kontraktuella faror

En kompetent och van byggherre ser till att reducera farorna genom att ha möjligheten att styra, till exempel genom att välja generalentreprenad.

Allmänt kan det vara en fara att ha ett kontrakt där det ej finns möjligheter att reglera i förhållande till verkligt utfall. Erfarenhet visar att om entreprenören gjort förluster i projektet så försöker han att reducera dessa i fortsättningen, ibland så att detta missgynnar projektet i stort. Många byggherrar är medvetna om denna fara och ser därför till att projektet genomförs med balans mellan utfört arbete och ersättning.

Två betydelsefulla val som byggherren ställs inför är att välja lämplig entreprenadform och entreprenör. Byggherren bör därför ha en strategi för sina beslut i dessa frågor. Här kan risk- och beslutsanalys vara ett hjälpmedel för att strukturera problem och möjligheter för olika alternativ, till exempel genom beslutsträdsanalys, se avsnitt 6.3.1. Detta tillvägagångssätt ger en möjlighet att värdera olika alternativ mot varandra och mynnar ut i förslag till bästa val.

Organisatoriska faror

Valet av "rätt" entreprenadform är en fara som påverkar projektet från upphandling via genomförande till avveckling. Uppfylls de uppsatta målen avseende kvalitet i utförande med vald entreprenadform?

Byggherren måste fråga sig om den befintliga egna organisationen är anpassad till projektets art, komplexitet och entreprenadform eller om en särskild projektorganisation bör tillsättas. Det är nödvändigt att byggherrens och entreprenörens organisationer är anpassade till varandra för att möjliggöra god kommunikation och en effektiv beslutsprocess och härigenom öka förmågan att styra mot avsett mål. Detta hanteras mycket olika där vana byggherrar ej utsätter sig för stor risk i detta avseende eftersom de är medvetna om farorna.

Geologiska byggfaror

I normala fall är det byggherren som "tillhandahåller berget". Det vill säga han står i princip för skador som kan orsakas av berget om dessa inte kan förutsägas ur anbudshandlingar.

I de inledande skedena innan byggstart upplever byggherren en process med förhoppningsvis ökande kunskap från idé till dess att byggnadsarbetena kan inledas. Det innebär att byggherren utsätter sig för risk i ett tidigt skede då budget och ansökan om myndighetstillstånd ska formuleras.

Byggtekniska faror

Dessa faror är kopplade till själva genomförandet av byggarbetena med förutsättningen att generalentreprenad gäller, det vill säga byggherren bestämmer metod, kapacitet mm. Såvida totalentreprenad tillämpas ansvarar entreprenören för dessa och de utgör därmed ett mindre direkt hot gentemot byggherren. I slutänden kommer förmodligen byggherren att få betala även vid totalentreprenad.

Faror på grund av omvärldspåverkan

Undermarksbyggande i stadsmiljö - speciellt storstadsområde, innebär stora hänsynstaganden gentemot befolkningen, byggnader och miljö. För att möjliggöra genomförande av projektet kan det vara nödvändigt att göra långtgående utfästelser avseende projektets utförande och drift. Det kan röra buller, transporter, vibrationer, grundvatten-sänkning eller dylikt som innebär begränsningar och kostnader för projektet. Byggherrarna får ansvara inte bara för ett ofta tekniskt komplicerat uppdrag utan även för information till allmänhet, massmedia och politiker.

Svårast att identifiera och värdera är ålägganden eller hänsyn rörande till exempel buller och transporter som uppstår under projektets byggfas eller drift. Dessa frågor kan bland

annat hanteras genom ett sannolikhetsbaserat synsätt i risk- och beslutsanalys i kombination med gedigen kompetens som är nödvändigt i denna typ av projekt. Tekniska åtaganden som är kända för byggherren innan ett projekt inleds kan enklare hanteras och värderas utifrån besluts- och riskanalys eller med traditionell planering.

4.2.2 Riskvärdering idag

För att få en uppfattning om hur olika faror kan komma att påverka projektet utförs en riskvärdering. Det är i sig inget nytt utan det har förekommit mer eller mindre medveten riskvärdering i alla tider även om tillvägagångssättet har förändrats och det sker mer metodiskt idag. Riskvärdering utförs genom erfarenhetsmässiga bedömningar, analyser och/eller genom att utnyttja metoder som tar hänsyn till osäkerheter.

Traditionellt sett utnyttjas erfarenhet för att identifiera och värdera farorna. Eftersom undermarksbranschen karaktäriseras av dåligt kända förutsättningar och ofta komplexa förhållanden har erfarenhet värderats mycket högt.

Successiva metoden som beskrivs i Kapitel 6 är en metod som används av vissa byggherrar. Metoden omfattar såväl kostnadskalkylering som tidsplanering och innebär att osäkerheter kan beskrivas genom trefaldigt ansättande av respektive post, minimum, mest troligt värde och maximum. För att ansätta relevanta intervall i skattning av kostnad och tid utnyttjas offerter, dokumentation från tidigare genomförda projekt och/eller egen erfarenhet. Metoden kan utnyttjas på ett mycket tidigt stadium och har fördelen att den anger vilka poster som mest bidrar till osäkerheten vilket möjliggör åtgärder för att analysera dessa. Successiva metoden har använts inom anläggningsprojekt i Skandinavien sedan 80-talet. Användningen i undermarksprojekt kan exemplifieras med följande projekt: Stora Bält-förbindelsen (entreprenör), Hvalfjörður-tunneln på Island (byggherre), City-tunneln i Malmö (byggherre) och bergum för lagring av gasol i Karlshamn (byggherre).

Trots en allmän medvetenhet, att det är viktigt att kunna bedöma risker, så är det sällsynt inom branschen med riskanalyser som bedömer såväl tekniska, ekonomiska som affärs-mässiga risker. De riskvärderingar som genomförs bedöms vara mest av typen rena kostnadsanalyser och tidsanalyser utan att man på ett stringent sätt tar hänsyn till den allmänna osäkerheten i skattningar eller stora enskilda händelser (olyckor).

Även om metoder för att värdera risker enligt ovan används av byggherrar så förmodas metodernas spridning vara relativt begränsad. Det bör alltså finnas ett behov att dels sprida kunskap om, och dels verka för nyttjande av, befintliga metoder, se vidare Kapitel 6. I samband med intervjuerna har det visat sig svårare att hitta erfarenheter från en stringent hantering av andra typer av risker än de som ingår i mer traditionella tids- och kostnadsanalyser, det vill säga kontraktuella risker, organisatoriska risker, geologiska risker etc. Här finns ett behov att ta fram verktyg. Allmänt om geologiska risker och hur dessa kan bedömas beskrivs av Sturk (1996).

4.2.3 Riskfördelning / riskreducering

Undermarksentreprenader liksom all projektverksamhet belastas normalt för byggherren av större hot eller risker i projektets inledande faser. Byggherren tar stora risker i den inledande planeringsfasen samt då anläggningen övergår till drift, men har möjlighet att påverka riskerna genom olika insatser. Uppläggning av planeringen med tidig analys av föreliggande hot samt omfattningen av förundersökningar styrs av byggherren och påverkar risknivån.

Nivån på risktagandet för byggherren under produktionsskedet bestäms av flera faktorer. Val av entreprenadform reglerar till stor del risktagandet. Banverket väljer exempelvis styrd totalentreprenad eller generalentreprenad som kan betecknas som en mellanform avseende fördelning av ansvar och risk. Banverket vill medvetet begränsa entreprenörens risktagande och anser sig ej kunna sälja ut ansvaret helt till entreprenören enligt Averstad (1995). Val av entreprenadformer med mer omfattande ansvar och möjligheter till styrning för entreprenören förväntas innebära bättre integrering mellan konstruktion och produktion och därigenom erbjuda effektivare helhetslösningar. Banverket menar dock att man ej kan sträcka sig ända till funktionsentreprenad avseende järnvägstunnlar på grund av den säkerhetsrisk som finns. Vid eventuella ras eller andra incidenter så menar man att byggherren ändå får ta sitt ansvar.

I en studie av byggherrars val av entreprenadform för husbyggnadsprojekt, Kodeda (1992), som baseras på intervjuer med professionella beställare, framgår det att byggherrarna vid större osäkerhet kring ett projekt väljer en form där han själv behåller en större del av ansvaret för framdriften.

Rent principiellt menar byggherrar att riskerna i samband med projektering och produktion kan förhandlas eller försäkras bort.

Ett exempel på långtgående förskjutning av risken till entreprenören är vid val av funktionsentreprenad. Entreprenören tar då risken redan i idéstadiet och byggherren "får betala" i slutänden i och med att entreprenören tar betalt för att ta ökad risk i denna entreprenadform.

4.2.4 Kritisk analys

- Det finns behov av förbättrade analyser/bedömningar av risker.
- Det kan ifrågasättas om det går att förhandla alternativt försäkra bort risken med berget på grund av geologiska osäkerheter till rimlig kostnad. Det har visat sig vid kontakter med försäkringsbolag att om de skulle ha möjlighet att ta risken, så skulle det krävas att det finns tillräckliga förundersökningar för att kunna göra en egen riskanalys. Detta är naturligtvis rimligt, men omfattande förundersökningar skulle vara mycket kostsamma att genomföra. Kostnaden skulle troligtvis bli lägre med

hjälp av riskreducerande åtgärder från byggherre/entreprenör med traditionella entreprenadformer.

- Byggherrarnas önskan att själva ta större ansvar i projekten då osäkerheterna är större får till följd att det ger mindre utrymme för entreprenadformer med större del av risktagande från entreprenörernas sida.

Det har trots allt genomförts projekt där entreprenörer tagit ansvaret för projektering, genomförande samt ibland drift och underhåll. Är det så att dessa inte genomförts på ett godtagbart sätt, och därigenom inte lyckats övertyga fler byggherrar om fördelarna med en sådan ordning? Eller, är det så att byggherrarna är konservativa och alltid kommer att reagera med större eget ansvarstagande då osäkerheterna i undermarksprojekt är större?

Trots allt är entreprenadformer med ett stort entreprenadansvar, det vill säga olika typer av totalåtagande, en relativt ny företeelse i branschen. En ökande andel projekt med omfattande entreprenadansvar kan förväntas även om vissa byggherrar fortsättningsvis kommer att låta genomföra projekten med traditionell ansvarsfördelning.

4.3 Risker ur projektörens synvinkel

Projektörens mål är att utifrån ofta en given plats, befintliga geologiska/geotekniska förhållanden, en funktionsbeskrivning och samhällets normer genomföra en projektering.

4.3.1 Faror

I sitt arbete med projektering ställs projektören inför val och beslut som måste tas för att fullfölja uppdraget. Exempel är val av säkerhetsnivå för konstruktionen, lämpliga material, underhållskrav på konstruktionen etc.

Hur styrs dessa val och vad är det som därigenom påverkar slutprodukten till stor del?

- Byggherren ställer upp förutsättningar för funktion och vanligtvis även utformning och/eller bygghetod. En omfattande styrning som påverkar dimensioneringen utövas genom de detaljerade anvisningar som används av stora byggherrar.
- Arbetets genomförande påverkar projektörens förhållande till uppdragsgivaren och den goodwill som är viktig för projektören att uppnå och vidmakthålla. Här kommer projektörens kompetens, arbetsbelastning och sysselsättningsaspekt in.
- Uppdrag till fast pris kan vara en effektiv form, men om ökande uppdragsvolym ej regleras med motsvarande ersättning till projektören kan arbetets kvalitet påverkas.

4.3.2 Riskvärdering idag

Styrningen av verksamheten utifrån normer och föreskrifter påverkar riskerna som projektören behöver utsätta sig för. En strikt regelstyrd eller handboksmässig dimensionering innebär att projektören ej behöver utsätta sig för risker i större utsträckning och därför görs normalt ej riskvärdering i detta skede även om det troligen förekommer ibland.

Även om projektören inte skulle styras av normer och regler så saknas skäl för honom att utsätta sig för risker. Följden härav riskerar att bli val och beslut på säkra sidan och lösningar som inte är optimerade.

4.3.3 Kritisk analys

Styrning utifrån normer och regler är orsakad av samhällets ansvar gentemot medborgarna. Alltför rigida system kan emellertid få negativa konsekvenser.

- Konservativ dimensionering genom handboksmässig dimensionering. Lokala förhållanden kan vara svåra att ta hänsyn till i normer och regler.
- Detaljstyrning av dimensioneringsproceduren kan vara hämmande för utvecklingen av projektörer.
- Avsaknad av incitament för projektören att utsätta sig för risk genom att optimera en lösning. Projektören förväntas snarare projektera på säkra sidan.

4.4 Risker ur entreprenörens synvinkel

Entreprenörens mål med verksamheten är i första hand att genomföra projekt som ger företaget maximal vinst. För att uppnå detta långsiktigt så kan det sättas upp vissa delmål för projektverksamheten. Några viktiga sådana delmål kan vara att:

- upprätthålla god konkurrenskraft, såväl tekniskt, kvalitetsmässigt som ekonomiskt.
- skapa goodwill

Den fara som entreprenören utsätter sig för påverkas av de åtaganden och ansvar som kontraktet ålägger honom. Entreprenadform och ersättningsform är två viktiga delar som i kontraktet får stor betydelse för risknivån och fördelningen av risk.

4.4.1 Faror

Oavsett vilken av entreprenadformerna som är aktuella så är det i praktiken och enligt lagen alltid entreprenören som ansvarar för arbetarskydd, säkerhet och arbetets utförande.

Organisatoriska faror

Entreprenörens val av organisationsstruktur och personal kan ha mycket stor betydelse för arbetets utförande. En logisk organisationsstruktur med lämplig personal, ”rätt man på rätt plats”, som är anpassad till projektet och beställarens organisation är viktig att åstadkomma.

Den studie som genomförts för Hvalfjörður-tunneln på Island, se Tengborg (1997), visade att organisationens struktur och bemanning kan få stor inverkan på såväl säkerhet som ekonomi.

Geologiska byggfaror

Geologiska byggfaror är en inbyggd sammansatt egenskap hos ett riskobjekt, och några exempel enligt Sturk (1996), är vatten i bergmassan, flowing ground, squeezing ground, smällberg, lösa block etc. En skadehändelse, exempelvis nedfall av lösa block eller kollaps av tunnelfronten kan leda till svårigheter att upprätthålla ett gott arbetarskydd och en allmän säkerhet på arbetsplatsen. Det ekonomiska resultatet kan även bli försämrat, och vid så stora skadehändelser som kollaps av tunnelfronten så kan längre avbrott av tunneldriften innebära väsentliga försämringar av projektets ekonomi, det vill säga innebära stor ekonomisk skada. Entreprenören är ju ansvarig för genomförandet och om de geologiska förhållandena ej avviker från tidigare givna förutsättningar så drabbar skadan entreprenören, det vill säga entreprenören får ta den ekonomiska konsekvensen av skadehändelsen. Försäkringar kan ge visst skydd mot kostnader för direkta fysiska skador på entreprenaden. Målet, att maximera vinsten, går då ej att uppfylla utan istället kanske vinsten helt uteblir i projektet.

Kontraktuella faror

Den kontraktuella risken upplevs som förhållandevis stor eftersom det kan innebära en stor fara om ena parten tar på sig mer ansvar än vad som ersätts enligt kontraktet. Detta är i högsta grad väsentligt för entreprenören att vara medveten om och bevaka.

Ansvar för avvikelser från förutsättningarna är centralt i undermarkskontrakt. De ekonomiska konsekvenserna på grund av okända förändringar i till exempel geologin kan vara mycket långtgående.

Dagens konkurrenssituation är sådan att det leder till hårda krav på entreprenörens åtagande. Ibland leder det till åtaganden som denne egentligen inte vill acceptera, men

ändå går med på. Ett exempel kan vara höga krav i de tekniska specifikationerna som det kan vara svårt att nå upp till. Minsta tillåtna vatteninläckage i tunnlar har sänkts undan för undan och närmar sig i vissa fall en extremt låg nivå som praktiskt kan vara svår att nå ner till.

Kontraktet reglerar även tillståndsfrågor, tullhantering och legala frågor. I samband med utlandsjobb kan dessa innebära väsentliga faror och behöver då uppmärksammas speciellt.

4.4.2 Betydelsefulla skadehändelser

Vid den intervjuomgång som har genomförts framkom att skadehändelser som anses mer allvarliga (ej rangordnade) är arbetsskador, produktionsstörningar och badwill.

Arbetskydd och den allmänna säkerheten är och har alltid varit högt prioriterad inom branschen. Det är därför helt naturligt att ansvaret för driftförstärkning alltid ligger hos entreprenören.

Störning av den dagliga produktionen, som till exempel kan vara orsakat av inläckage av vatten när injekteringarna ej tätar eller av stabilitetsproblem, kan innebära stora ekonomiska konsekvenser och i värsta fall att entreprenören blir tvungen att lämna platsen utan att ha slutfört projektet.

Med begreppet badwill menas den misskreditering som en entreprenör kan råka ut för gentemot byggherren, myndigheter, konkurrenter eller hos allmänheten. Badwill kan uppstå vid otillfredsställande genomförande av ett projekt av en eller annan anledning och kan minska entreprenörens möjligheter att få jobb både på kort och lång sikt.

Ser man till branschen i stort så kan badwill naturligtvis leda till att andra lösningar väljs i stället för undermarksanläggningar. Några större projekt som drabbats av kraftiga kostnadsöverskridanden och/eller stora tekniska problem är Stora Bält-projektet enligt Wallis (1993), Eurotunneln under Engelska kanalen enligt Vrijling & Redeker (1993) och Hallandsåstunneln enligt Strömkvist (1995).

4.4.3 Riskvärdering idag

Skadehändelser och de skador som de leder till för entreprenören uppstår huvudsakligen i produktionsskedet och under garantitiden. Men, som vi kan se ovan, finns faror med i ett tidigt skede i form av kontraktuella faror.

Rishtagandet är till viss del beroende av personlighet hos den som fattar besluten och innebär att det blir olika stora "riskpålägg" från individ till individ. Huvudsakligen bör

det emellertid vara organisationen som avgör genom att företagen har givna riktlinjer för att få den risknivå som man generellt bestämt sig för.

Först genomförs en inventering av riskerna. Kvantifiering av riskerna är ofta svårt och genomförs idag till stor del utifrån erfarenhetsbaserade antaganden.

Verktyg används emellertid idag av vissa entreprenörer i enstaka fall för att kvantifiera risker i projekt. Bland annat används den så kallade Successiva Metoden som ger en bild av projekts osäkerhet och risk, se vidare Kapitel 6.

Det framgår dock att det finns ett relativt stort behov av verktyg för att kunna hantera själva kvantifieringen på ett mera systematiskt sätt än vad som görs idag. Kunskapen, i form av erfarenhet kan då utnyttjas mer än idag.

4.4.4 Riskfördelning / riskreducering

Farorna upplevs som betydande i kontraktsskedet, då entreprenören till stor del låser fast sina åtaganden.

En uppfattning som framkom vid intervjuer med entreprenörerna var att byggherrarna måste bli mer medvetna om riskerna och att osäkerheter och kända faror ska lyftas fram på ett tidigt skede, så att riskerna kan bli kalkylerbara. Om förundersökningar genomförs väl minskar osäkerheten både i samband med kontraktets tecknande och i produktionsfasen. Vidare innebär ett väl specificerat underlag ett lägre risktagande från entreprenören. Resultatet bör bli en bättre överensstämmelse mellan förväntat och verkligt utförande vilket kan bidra till lägre krav mellan byggherre och entreprenör i projektets slutuppgörelse.

Generalentreprenadformen innebär riskfördelning till viss del genom à-priser och mängdreglering.

Även genom incitamentsavtal kan risker hanteras, genom att entreprenören får extra betalt för vissa prestationer. I kontraktet finns reglerat vilka prestationer utöver grundkraven som premieras. Det är ofta förkortning av genomförandetiden som premieras, men kan också avse kvalitet på slutprodukten eller materialförbrukning.

I total- och funktionsentreprenad är entreprenören med som stor risktagare redan i idéstadiet, där det vid andra entreprenadformer är beställaren som tar risken. Vid funktionsentreprenad kan entreprenören finna det nödvändigt att själv genomföra kompletterande förundersökningar och på så sätt minska osäkerheten i anbudet genom att han har större kännedom om de geologiska förhållandena.

4.4.5 Kritisk analys

- Anbudsgivning baserat på underlag där verktyg för risk- och osäkerhetsbedömningar har utnyttjats genomförs endast i begränsad omfattning. Det har visat sig finnas ett önskemål om framtagande av verktyg för att på ett mer systematiskt sätt än idag kunna kvantifiera osäkerheter.
- För projekt där entreprenören bär mycket stor risk, det vill säga långt gående totalentreprenad eller funktionsentreprenad, kan man förvänta sig att störst intresse kommer från de riktigt stora entreprenadföretagen. Även om möjligheten att göra stora vinster kan finnas så är osäkerheterna och ansvaret stort, varför det är tveksamt om mindre företag kan klara det. Endast de riktigt stora och erfarna byggherrarna eller d:o entreprenörerna har möjlighet att sprida riskerna från projekt till projekt.
- Ett av de två delmål som nämndes för entreprenörer i avsnitt 4.4 "Risker ur entreprenörens synvinkel" var att upprätthålla god konkurrenskraft, såväl tekniskt, kvalitetsmässigt som ekonomiskt. Satsning på mer långtgående åtaganden från entreprenörernas sida kan bidra till att uppfylla delmålet eftersom det ger större möjlighet till utveckling av alternativa lösningar och kompetensuppbyggnad hos personalen.

4.5 Försäkringars roll i samband med risker

Risker kan enligt Hamilton (1985) delas in i statiska och dynamiska risker. Statika risker resulterar i förlust om en skadehändelse, till exempel brand, inträffar men ingen förlust om skadehändelsen ej inträffar. En dynamisk risk däremot kan antingen ge förlust eller vinst och är en affärsrisk, jämför aktieplacering.

De statiska riskerna kan enligt Larsson (1979) delas in i fem huvudrisker nämligen:

- Fysisk skada på egendom
- Följdskada av skada på och förlust av egendom
- Skada genom bedrägerier och andra kriminella handlingar
- Skadeståndsansvar
- Skada genom att olycksfall, sjukdom eller död drabbar företagets nyckelpersoner.

Flertalet av de statiska riskerna är försäkringsbara till skillnad från de dynamiska riskerna.

4.5.1 Försäkringsformer

Några viktiga lagar som reglerar ansvarsfrågan i samband med bygg- och anläggningsprojekt är Jordabalken, Miljöskadelagen, Skadeståndslagen och Arbetsmiljölagen. Bland annat Hanzén (1994) tar upp lagar och avtal inom bygg- och anläggningsprojekt.

Enligt **Jordabalken** är byggherren skyldig att i samband med grävning och andra markarbeten utföra och bekosta nödvändiga skyddsåtgärder för att förebygga skador på angränsande fastighet. Uppkommer skador så är det byggherren som är ansvarig gentemot omgivningen. Ansvaret betecknas byggherreansvar och kan endast till vissa delar skrivas över på entreprenören. Om arbetena är farliga eller omfattande så är ansvaret strikt, det vill säga vårdslöshet vid arbetenas utförande behöver ej föreligga för att ansvaret ska åvila byggherren.

Vid entreprenadkontrakt enligt AB 92 så åtar sig entreprenören att svara för byggherrens eventuella skadeståndsskyldighet gentemot tredjeman till följd av entreprenaden. Dock gäller att entreprenören har möjlighet att bli fri från byggherreansvar om han kan visa att han varit tillräckligt försiktig, det vill säga att byggherren själv får stå för sådana skador på omgivningen som är oundvikliga i samband med byggande. Se vidare nedan om Byggherreansvarsförsäkring.

Vid byggnation på egna anläggningar gäller **Skadeståndslagen** såvida man inte har avtalat om strängare eller mildare regler. Följande viktiga grundregler har fastslagits genom Skadeståndslagen:

- Avtalsparterna, exempelvis beställare och entreprenör, kan avtala om det inbördes förhållandet avseende skadeståndsbestämmelserna mellan dem. Dock kan inte en utomstående rätt sättas ur spel genom avtal.
- Den som orsakat en skada är skyldig att ersätta den - Culparegeln.
- Omkastad bevisbörda gäller och innebär att den som orsakat en skada måste bevisa att han ej varit oaktsam.

Enligt **Miljöskadelagen** gäller ett strikt ansvar vid personskada, sakskada eller förmögenhetsskada som orsakas av verksamheten genom utsläpp i luft, buller, vätskeutsläpp och avfall. Med strikt ansvar menas att ansvar gäller oavsett om vårdslöshet föreligger vid arbetenas utförande eller ej. Det räcker med att det finns orsakssamband mellan arbetena och skadan. För undermarksprojekt är det huvudsakligen fråga om följande störningar som ger den skadelidande rätt till ersättning: buller, vibrationer, förändring av grundvattennivå, förorening av mark och vatten, sprängsten och andra föremål som sprängts loss.

Enligt lag är alla som bedriver verksamhet på en fastighet solidariskt ansvariga vid miljöskada på omgivningen, det vill säga skadeståndsanspråk enligt Miljöskadelagen kan riktas mot samtliga parter vid byggnation. Branschavtalet AB 92 innefattar bestämmelser om inbördes ansvarsfördelning mellan byggherre och entreprenör och

vem som ska teckna försäkringar. Enligt AB 92 finns bestämmelse som anger att beställaren har huvudansvaret vid miljöskada om entreprenören kan visa att skadan inte kunnat förebyggas eller begränsas av honom. Jämför Byggherreansvarsförsäkring nedan.

Ansvar för arbetsplatsens arbetarskydd ligger enligt **Arbetsmiljölagen** på entreprenören för dennes personal. Om flera entreprenörer (= arbetsgivare) är verksamma på samma arbetsplats ligger samordningsansvaret hos byggherren. Avtalsmässigt kan emellertid ansvaret för byggherrens ansvar enligt Arbetsmiljölagen läggas över på en entreprenör, lämpligtvis generalentreprenören, vilket också normalt är fallet idag.

Konsultansvarsförsäkring

Det ansvar som konsulten har, regleras genom avtal och lag. En konsultansvarsförsäkring täcker såväl lagenligt ansvar som kontraktsmässigt ansvar enligt ABK 96. Försäkringen ersätter skada som inträffar i samband med konsultens rådgivande verksamhet och avser skada som konsulten orsakat sin uppdragsgivare genom vårdslöshet eller försummelse. Försäkringen är normalt maximerad till ersättning upp till 120 basbelopp eller i storleksordningen 4 miljoner kr.

Konsultansvarsförsäkringen är speciell så till vida att den inte endast som allmän ansvarsförsäkring täcker person- och sakskada utan även ersätter ren förmögenhetsskada. Denna ska vara orsakad av konsultens felaktiga arbete och vara åsamkad konsultens kontraktspart. Exempel på förmögenhetsskada är fel i konstruktionen som beror av felaktigt utförd projektering av tågtunnel med felaktigt utformad portal så att höghastighetståg ej kan passera med avsedd hastighet. Arbetet är fel utfört och måste göras om vilket innebär ekonomisk skada som täcks av försäkringen.

Bland undantagen som gäller märks:

- Skada som den försäkrade åtagit sig att ersätta om åtagandet avser skadeståndsskyldighet utöver ABK eller i övrigt gällande skadeståndsrätt.
- Förmögenhetsskada som är en konsekvens av fel i kalkyler, mängdberäkningar eller förteckningar avsedda att ligga till grund för ekonomiska bedömningar i samband med upphandling eller anbudsgivning.
- Skada som består i att objekt eller del därav i fråga om utformning, material m m erhållit ett ur utseendesynpunkt inte tilltalande utförande.

Byggherreansvarsförsäkring

Ansvar för skador i grannskapet som byggherren har enligt Miljöskadelagen täcks i regel inte av dennes normala Ansvarsförsäkring. Det är därför Byggherreansvarsförsäkringen har kommit till. Försäkringen kan beroende på hur entreprenadavtalet är utformat tecknas antingen av beställaren eller för beställarens räkning av entreprenören.

Bland annat innebär det att följande skador som ej täcks av den normala Ansvarsförsäkringen kommer att ersättas:

- Skada på egendom som orsakats av ras, sättning eller förskjutning i marken.
- I viss mån skador genom förändring av grundvattennivån.
- Miljöskador orsakade av vibrationer, föroreningar m m.

Försäkringen tecknas för den enskilda entreprenaden med självrisk och premie beroende av arbetenas farlighet.

Allriskförsäkring

Avtal enligt AB 92 innebär villkor att entreprenören ska teckna och vidmakthålla såväl Allriskförsäkring som Ansvarsförsäkring för entreprenadverksamheten. Texten i AB 92 kap 5 §22 lyder "... Entreprenören skall ha allriskförsäkring för skador på entreprenaden. Beställaren skall vara medförsäkrad. Försäkringen skall gälla under entreprenadtiden och under två år efter entreprenadens godkännande såvitt skador gäller skador för vilka entreprenören ansvarar. ...". Försäkringen är en egendomsförsäkring och avser kontraktarbetena jämte ändringar och tillägg. För en mer omfattande beskrivning hänvisas till Hagman (1993). Beställaren ska vara medförsäkrad för att försäkringen ska kunna utnyttjas av denne om entreprenören inte lyckats fullgöra sina åtaganden.

Undantag som får finnas i försäkringsskyddet är skada som består av fel nämligen: felaktigt eller bristfälligt utfört arbete, felaktigt material, felaktighet i konstruktion samt felaktighet eller brist i beräkningar, ritningar etc. Observera att det som avses är själva felet, som ej ersätts till skillnad vad som gäller enligt Konsultansvarsförsäkringen, se ovan. Däremot ersätts följdskada på entreprenaden som är orsakad av till exempel felaktigt material.

I utlandet förekommer däremot att även felet ersätts, men då med begränsat belopp.

Försäkringsbeloppet ska, enligt AMA-nytt (1993), omfatta återanskaffningsvärdet av entreprenaden.

Ansvarsförsäkring

Entreprenörens Ansvarsförsäkring är liksom Allriskförsäkringen inskriven i avtal enligt AB 92. Ansvarsförsäkringen erbjuder enligt Hagman (1993) försäkringstagaren skydd för skadeståndsansvar enligt lag. Ett vanligt och viktigt undantag i ansvarsförsäkringen är att skada på det egna åtagandet, det vill säga entreprenaden, ej omfattas av skyddet.

Försäkringen gäller inte för skada som den försäkrade kan bli ansvarig för i egenskap av byggherre. Då träder i regel Byggherreförsäkringen in, se ovan.

4.5.2 Försäkringsbolagens riskvärdering idag

Samtal med företrädare för försäkringsbranschen, Svensson (1996) och Åkesson (1996), utgör viktigt underlag för avsnittet.

Den riskvärdering som försäkringsbolagen gör för den allmänna byggsektorn utgår från statistik baserad på ett stort antal händelser. Nyproduktion av undermarksprojekt är jämförelsevis få och inbördes mycket olika. Det finns därför begränsat statistiskt underlag som försäkringsbolagen kan utnyttja för att bedöma riskerna avseende nybyggnadsprojekt. För befintliga anläggningar är situationen annorlunda med relativt många undermarksanläggningar som i vissa fall har varit i drift lång tid, jämför till exempel det stora antal vattenkraftstunnlar vi har i vårt land.

Vad försäkringsbolagen gör för att bedöma risker i undermarksprojekt är att identifiera och kvantifiera den så kallade Estimated Maximum Loss (EML). Omfattningen av EML utgörs av den skada som sannolikt skulle uppstå under normala omständigheter av aktivitet, sysselsättning och säkerhetsåtgärder i "byggnaden" i fråga. Speciella omständigheter med extraordinära förhållanden och som skulle kunna ge upphov till en förändrad riskvärdering i sammanhanget utelämnas.

Försäkringsbolaget begär in underlag från kunden, vilket därefter granskas och värderas av sakkunnig, som kan vara egen personal eller konsult. För nybyggnadsprojekt kan underlaget vara geotekniska beskrivningar, metodbeskrivning med laddningsplaner mm. Riskvärdering utförs inte endast av direktförsäkraren utan så småningom även av återförsäkraren, det vill säga ett större internationellt försäkringsbolag som anlitar internationell expertis.

För att minimera sina risker kan försäkringsbolaget ha krav på utförandet. Krav avseende fysisk säkerhet kan exempelvis innebära krav på maximala värden för vibrationer som mäts av vibrationsmätare i området.

Riskvärdering av befintliga anläggningar kan i relativt stor utsträckning baseras på statistik. Försäkringsbolagen begär in skadestatistik från 5 år tillbaka i tiden för den aktuella anläggningen som underlag för egendomsförsäkring. Avser försäkringen en okänd anläggning görs en separat analys.

Försäkringsbolagen sprider sina risker genom att återförsäkra sig på den internationella marknaden. De går då ut på marknaden med större projekt för att få en återförsäkring baserad på de villkor som försäkringsbolagen är villig att ge kunden. I samband med dessa förhandlingar kan det visa sig att återförsäkrarna finner riskerna större och kanske också ställer krav på byggmetoder för genomförande av undermarksprojektet så att riskerna minskas till acceptabel nivå. En begränsning som återförsäkringsmarknaden sätter är att deras åtaganden bara är ett år i taget, vilket direktförsäkraren för vidare till kunden genom en ettårig försäkringsperiod.

Börs- och ränteläget påverkar återförsäkrarna som vid högt läge kan finna till exempel obligationer mer intressanta. Detta pressar upp premierna och leder härigenom till dyrare försäkringar för kunden.

Försäkringsbolagens värdering av risker har emellertid i vissa fall visat sig vara mindre omfattande än vad som beskrivs ovan. Genom att förmedla risken till återförsäkrare minimerar försäkringsbolagen sin riskexponering.

4.5.3 Försäkringars roll inom undermarksbyggande och drift idag

Projektering

Under projekteringsskedet erhåller ofta en extern konsult uppdraget att genomföra projektering med konstruktion och ofta också sammanställa förfrågningsunderlag. Konsulter kan också ha mer administrativa uppgifter i samband med upphandling eller under byggskedet. Som beskrivs i Kapitel 4.3 så har projektören ansvar för skada som projektören åsamkar sin uppdragsgivare. Generellt anses konsulten ansvara för skada som han orsakar genom fel och försummelse då konsulten åsidosatt sedvanlig omsorg eller inte visat den yrkesskicklighet som förutsätts vara allmän inom branschen. Ofta gäller standardavtalet ABK 96 mellan parterna. Avseende ansvaret gentemot uppdragsgivaren förutsätts då att fel eller försummelse har begåtts från konsultens sida.

Arbetena som konsulten utför kan vid fel få stora konsekvenser, både vad gäller fysisk skada och förmögenhetsskada. Eftersom konsultens ersättning för uppdraget och dennes ekonomiska styrka sällan står i proportion till de konsekvenser ett fel eller skada kan innebära så är Konsultansvarsförsäkringen mycket viktig för såväl konsulten som dennes uppdragsgivare. Försäkringen medger ersättning till ett maximalt belopp av 120 basbelopp (om inte annat avtalats), vilket normalt inte är tillräckligt för att täcka skadan och dess konsekvenser i tyngre anläggnings- eller undermarksprojekt.

Nybyggnad

Försäkringsskydd har beställare och entreprenör normalt mot skador som uppstår i samband med genomförande av entreprenaden. Skador kan vara personskada, sakskada eller förmögenhetsskada för tredje man.

Skydd genom försäkring mot att en entreprenad blir dyrare eller tidsförlängd på grund av besvärliga geologiska förhållanden förekommer emellertid inte.

Drift och underhåll

Försäkringar är en viktig del i skyddet av befintliga anläggningar. Erfarenheterna är störst avseende vattenkraftsanläggningar under mark. Statens egendom försäkras ej så väg- och järnvägstunnlar är ej aktuella i detta sammanhang.

Genom försäkring kan anläggningsägaren få ersättning för att återställa anläggningen till det skick den hade före skadetillfället. Förutom ersättning för reparation kan anläggningsägaren få ersättning även för driftbortfall som till exempel ersättningskraft.

Den så kallade Bolmentunneln är en 80 km lång tunnel i berg för överföring av färskvatten från Bolmen i Småland till ett antal kommuner i västra och sydvästra Skåne. Tunneln ägs och drivs av Sydvatten som har tunneln försäkrad. Under 1995 rasade en del av tunneln vilket resulterade i omfattande tömningsinsatser, inspektion och reparation. Den då gällande försäkringen ersatte dessa insatser bortsett från självrisker på ca 15%.

Efter raset tog man en ny försäkring mot egendomsskada men kompletterade den med skydd mot de ökade driftskostnader som uppstår i samband med tunnelhaveri, till exempel ersättningsvatten från andra och dyrare reservoarer. Försäkringen löper under 3 år med årlig omprövning.

Bolaget upplever en trygghet i att kunna fördela sina risker i tiden för att på så sätt undvika enskilda mycket stora utbetalningar om en allvarlig skada skulle uppstå i tunneln.

4.5.4 Kritisk analys

- Konsultansvarsförsäkringen är normalt begränsad till 120 basbelopp, idag drygt 4 miljoner kronor, vilket i tyngre undermarksprojekt kan vara alltför begränsat.
- Entreprenörens och beställarens Allriskförsäkring avser skador på entreprenaden. Själva felet ersätts ej utan den följdskada som det orsakar, till skillnad mot Konsultansvarsförsäkringen där det är felet som ersätts.
- Försäkringsbolagen sprider sina risker genom återförsäkring på den internationella återförsäkringsmarknaden. Återförsäkring kan erhållas endast ett år åt gången vilket leder till att försäkringsbolagen ej vill binda sina åtaganden mot slutkunden längre tid. Inom undermarksbyggande är detta en mycket kort tid och kan vara otillfredsställande i samband med tunga långsiktiga investeringar.
- Genom spridning av riskerna hos återförsäkrare kan försäkringsbolagen minimera sina risker. Detta kan leda till mindre intresse för realistiska riskvärderingar av bergteknisk expertis.
- Försäkringsfrågor är ofta komplexa och kräver expertis i form av jurister och försäkringsspecialister.
- Besluts- och riskanalys kan användas för att välja strategi i samband med val av försäkringsskydd.

4.6 Ägarens syn på underhåll och haveri

4.6.1 Bakgrund

Ras förekommer då och då i tunnlar och bergrum under drifttiden vilket kan medföra såväl säkerhetsrisk som stora ekonomiska konsekvenser. Kravet på utformning av förstärkning beror av det aktuella lastfallet men den förväntade konsekvensen av nedfall av sten eller block påverkar också kraven.

I avsnittet 4.6 beskrivs huvudsakligen två skilda anläggningstyper, vattenkraftsanläggningar och vägtrafiktunnlar för att på så sett ge en konkret bild av undermarksanläggningar med vitt skilda krav på säkerhet och underhåll.

Underhållsåtgärder i en vattenfylld kraftverkstunnel kan vara betydligt svårare att få till stånd än vad som är fallet för en vägtrafiktunnel. Huvudsakligen är det problem med tillgänglighet och kostnad för avstängning av en vattenfylld kraftverkstunnel som försvårar underhållsåtgärder. Konsekvensen av ras är inte så allvarlig, rent säkerhetsmässigt, för en kraftverkstunnel som i fallet med vägtrafiktunnel.

4.6.2 Planerat underhåll

Ett planerat underhåll innebär en på förhand bestämd insats för att underhålla en anläggning. Förutom anläggningsägarens egna regler och anvisningar finns samhälleliga krav formulerade i regler, normer och föreskrifter. Ett exempel på myndigheters krav är de som Yrkesinspektionen har fastställt avseende skyddsskrotning.

Det planerade underhållet avseende undermarkskonstruktioner i Vattenfalls vattenkraftsanläggningar bestäms enligt Clarin (1996) utifrån egna bedömningar och Yrkesinspektionens krav på skyddsskrotning enligt AFS 86:17. I Lilla och Stora Lule älv har Vattenfall 15 vattenkraftstationer som är skrotningspliktiga. De är av varierande storlek och byggda under 50-, 60- och 70-talet. Skyddsskrotning av anläggningarna genomförs enligt ett rullande schema och berör utrymmen där personal vistas, det vill säga tillfartstunnlar, tillfartstunnel till sugrör, luckschaktsutrymmen och takvalvet i kraftstationen. Tilllopps- och utloppstunnlar har ej inspekterats sedan de byggdes, i vissa fall för 40 år sedan. Endast vid stora fallförluster kan det bli aktuellt med inspektion och åtgärder eftersom tömning och inspektion av de långa vattenfyllda tunnlarna blir mycket kostsam och nyttan endast i dessa fall är uppenbar. Med den energisituation som för närvarande råder i Sverige väntar man i det längsta med underhållsåtgärder som innebär avställning av anläggningen och bortfall av produktion. I samband med de direkta skrotningsarbetena genomförs förstärkningsåtgärder och utbyten av befintlig driftförstärkning bestående av expanderbult (ej permanent) mot ingjutna bult.

Vattentunnlar till kraftverk eller för överföring av dricks- eller avloppsvatten karaktäriseras av att normal okulär inspektion eller underhåll ej är möjligt utan att tömma dessa. Tunnlarna innehåller en ansenlig mängd vatten och det är därmed både tids- och kostnadskrävande att tömma dem. Under tömning och underhåll drabbas ägaren dessutom av intäktsbortfall. Det planerade underhållet innebär stora kostnader samtidigt som värdet av det förebyggande eller planerade underhållet kan ifrågasättas enligt samtal med Eriksson (1996).

För vattenfyllda kraftverkstunnlar innebär det i regel att kostnaden i förhållande till nyttan i samband med planerat underhåll är så hög att dessa anläggningar drivs utan planerade underhållsåtgärder.

I praktiken avbryts driften för underhålls- eller reparationsåtgärder i tunnlar endast vid haveri i tunnlar, ökande fallförluster i tunnlar eller i samband med avställning av andra delar av anläggningen. Mer om detta i nedanstående avsnitt.

Torra tunnlar och bergrum där personal vistas omfattas av planerat underhåll med inspektion och skyddsskroting. Som exempel kan nämnas att nedfartstunnlar som i regel är förstärkta med sprutbetong skyddsskrotas var 4-5:e år.

Den säkerhetsmässiga konsekvensen av nedfall av sten eller block i en trafiktunnel kan vara mycket allvarlig och denna typ av olycka får i princip inte inträffa. Säkerheten kan bibehållas på en hög nivå genom regelbundet underhåll, och enligt Vägverket (1995) så är just underhållet mycket viktigt för bl a säkerheten vid användning. Det anges ej i föreskrifterna, Vägverket (1995), med vilket tidsintervall eller hur underhåll ska ske. Varje trafiktunnel är unik och instruktioner för drift och underhåll upprättas för varje enskild anläggning.

Den stora skillnaden dels i teknisk livslängd, dels i konsekvensen vid till exempel nedfall av sten eller betong i olika typer av anläggningar, innebär att helt skilda synsätt måste tillämpas avseende planerat underhåll.

4.6.3 Haveri och andra skäl för oplanerade åtgärder

Tunnlar avsedda för vattentransport, här exemplifierade med vattenkraftstunnlar, behöver normalt sett tömmas för att medge besiktning och reparations-/underhålls-åtgärder. Det kan vara ett både tids- och kostnadskrävande arbete samtidigt som anläggningen drabbas av kostnader orsakade av driftbortfall. Det är främst av dessa orsaker samt tveksamhet om effekten av förebyggande åtgärder som planerat underhåll i princip saknas.

I stället genomförs underhåll eller andra åtgärder i vattenkraftstunnlar enligt Eriksson (1996) och Helgesson (1996) endast då det finns något eller några av följande skäl:

- Haveri innebärande stopp av vattenflödet vilket orsakats av ras i tunneln.
- Successivt ökande fallförlust i tunneln till kritiskt värde då åtgärd måste vidtagas.
- Stopp av vattenkraftsanläggningen av andra orsaker som innebär att tunnarna torrläggs.

Tunnelhaveri

Historiskt sett har en handfull ras i vattenkraftstunnlar inträffat i vårt land. Dessa har inneburit akuta insatser under ibland mycket svåra förhållanden och komplicerade arbeten.

Fyra större tunnelras har inträffat i svenska vattenkraftsanläggningar: Tåsans vattenkraftsanläggning (ca 30 år sedan), Oforsens vattenkraftsanläggning (ca 15 år sedan), Arbrå vattenkraftsanläggning (8-10 år sedan) och vid en av Gränseverken vattenkraftsanläggningar (ca 7 år sedan).

Rasen i de två senare gick upp till markytan och öppnade därigenom hål upp till markytan. Dessutom har ras även förekommit i den ca 80 km långa Bolmentunneln för överföring av färskvatten från sjön Bolmen i Småland till centrala och västra delarna av Skåne. Två ras har hittills förekommit i Bolmentunneln, dels 1985 i samband med driftsättning och dels 1995 efter 10 års drift. Vid dessa fyra haverier har rasen varit orsakade av svällande leror. Vid kontakt med vatten har svälleran utövat ett tryck mot förstärkningen av sprutbetong som därmed deformerats. Erosion av leran eller leromvandlat berg har därefter orsakat att bergblock brutit loss sprutbetongförstärkningen och en allt större kavitet har skapats.

Reparationsåtgärderna i haverifallen som beskrivits ovan innebär ofta okonventionella lösningar. I dessa situationer kan riskanalys utnyttjas för att förstå problematiken och för att underlätta planering och genomförande av åtgärder.

Successivt ökande fallförluster

Till skillnad från ett haveri, som innebär att en vattentunnel blir så blockerad att den måste stängas av, kan begränsat nedfall under längre eller kortare tid innebära ökat motstånd för vattengenomströmningen. Med ökade fallförluster minskar vattengenomströmningen och därigenom kraftproduktionen i en vattenkraftstation, alternativt färskvattenleveranserna från vattenföretaget, till ett kritiskt värde då åtgärder krävs.

Andra skäl för åtgärder

Vattenfyllda tunnlar kan vara möjliga att inspektera och åtgärda i de fall andra delar av anläggningen ska åtgärdas. Det finns exempel på fall där förstärkning med sprutbetong utförts i vattentunnlar i förebyggande syfte och vidtogs i samband med att annan ombyggnad skulle utföras, Eriksson (1996).

4.6.4 Beständighet

Undermarksanläggningar byggs för olika tekniska livslängd beroende av användningsområde.

För vägtrafiktunnlar är kraven på teknisk livslängd höga. Enligt Vägverket (1995) gäller för tunnlar längre än 1000 m en förväntad medellivslängd av bärande huvudsystem på 150 år, givet normalt underhåll. I Vägverkets beskrivningar av normalt underhåll föreskrivs: "åtgärder för att återföra egenskaper hos konstruktioner, anläggningar och anordningar mot den nivå som avsetts vid byggande eller förbättring". Härav följer att kravet på ingående materials beständighet ställs högt.

Kraftverkstunnlar och lagerrum för petroleumprodukter är ursprungligen ofta byggda för en drifttid på minst 40 år. Möjligheterna att underhålla anläggningarna är mycket begränsade på grund av bristande tillgänglighet.

Viktiga komponenter i en undermarkskonstruktion som bör bedömas avseende beständighet baserat på kraven för konstruktionens livslängd:

- Bultförstärkning
- Armeringsnät
- Eventuella dräner
- Sprutbetong (urlakning kan förekomma)
- Injekteringsmedel (nya materials beständighet kan vara dåligt känd)

Avseende beständighet så har det visat sig att det inte enbart är de material som tillförs undermarkskonstruktionen utifrån som måste bedömas utan även berget i sig. Förutom den tidigare beskrivna problemet med svällande leror så kan en snabbare vittring förväntas av berget i samband med frysning av bergmassan (trafiktunnlar).

4.6.5 Kritisk analys

Typiska beslutssituationer - värderas lämpligtvis med hjälp av beslutsanalys:

- Behovet av underhåll bestäms i högsta grad av typ av tunnel eller bergrum. Det är i princip säkerhet mot personskador som styr behovet av underhåll. Konsekvensen av nedfallande sten eller inläckande vatten i trafiktunnlar innebär behov av planerat underhåll. För vattentransporttunnlar är behovet av planerat underhåll betydligt lägre och innebär i praktiken att åtgärder genomförs endast vid tunnelhaveri eller i de fall tunnarna torrläggs av andra skäl.
- Beständighetskravet på vägtrafiktunnlar är höga. Medellivslängden för bärande huvudsystem på 150 år innebär att kraven på ingående materials beständighet är mycket höga. Det missgynnar material/metoder som har kortare livslängd och som kan förnyas efter viss tid till lägre eller samma totalkostnad.

5 KVALITETSSYSTEM

Begreppet kvalitet betyder ”inre värde, egenskap och beskaffenhet” enligt SAOL.

För våra behov behövs emellertid en konkretisering av uttrycket. En mer handfast beskrivning av begreppet finner man i Svensk standard, SS 02 01 04, där kvalitet är ”Alla sammantagna egenskaper hos en produkt som ger dess förmåga att tillfredsställa uttalade eller underförstådda behov”. Vidare ges följande anmärkningar:

1. I kontraktsammanhang är behov specificerade. I andra sammanhang bör de underförstådda behoven identifieras och definieras.
2. I många fall kan behov ändras med tiden, vilket nödvändiggör återkommande uppdateringar av specifikationer.
3. Behov översätts vanligen till egenskaper som ska uppfylla specificerade kriterier. Behoven kan innefatta aspekter på användbarhet, säkerhet, tillgänglighet, tillförlitlighet, underhållsmässighet, ekonomi och miljö.
4. Termen ”kvalitet” används inte för att uttrycka grad av utmärkthet i jämförande syfte och ej heller i en kvantitativ betydelse vid teknisk utvärdering. I dessa fall ska ett bestämmande adjektiv användas. Tillexempel kan man använda termerna
 - a) ”relativ kvalitet” då produkten rangordnas på en relativ skala.
 - b) ”kvalitetsnivå” och ”kvalitetsmått” i de fall tekniska bestämningar görs kvantitativt.
5. Kvaliteten hos en produkt påverkas av många av varandra beroende aktiviteter såsom konstruktion, produktion, utförande av tjänst och underhåll.

I ISO 9001s definition för kvalitet är ordet ”produkt” utbytt mot ”ett objekt eller en företeelse”.

Utifrån kundens perspektiv är kvalitet att få rätt produkt vid rätt tid och till rätt pris. Utföraren eller leverantören av en tjänst eller vara ska förutom ”kundnyttan” uppnå god produktivitet och god arbetsmiljö.

De första genomtänkta kvalitetssystemen härrör från andra världskrigets slut. De allierades arméer fick återkommande sena leveranser av produkter, ofta felaktiga varor och varor behäftade med fel. Vid genomgång av hela kedjan med orsaker till fel, formulerades krav för att säkerställa att rätt produkt tillverkades och levererades. Enligt Wätte & Cassel (1989) är detta systematiska sätt att formulera krav, följa upp och verifiera själva kärnan i det moderna kvalitetsarbetet.

En av grundtankarna med kvalitetsarbete är att göra rätt från början. Det kan tyckas självklart, men om det ska läggas extra resurser på att åstadkomma detta så står sällan sådana åtgärder oemotsagda.

Användningen av metoder för kvalitetssäkring inom branschen idag omfattar spektret från företagsinterna kvalitetsrutiner som man tagit fram på egen hand och därigenom är helt anpassade till den egna specifika verksamheten till nyttjande av SS-ISO 9000 serien. Här kommer ytterligare metoder för kvalitetssäkring att beskrivas eftersom undermarksprojekt kan vara mycket olika till sin karaktär och härigenom ställer olika krav på kvalitetssäkring.

För enskilda projekt upprättas, i allmänhet eller när beställaren så begär, projekt-specifika kvalitetsplaner. I kvalitetsplanen beskrivs hur kvalitetssystemet ska tillämpas i det specifika projektet med namngivna deltagare, hur samordning mellan olika grupper ska ske, för projektet speciella rutiner etc.

5.1 Varför behövs kvalitetsarbete inom undermarksbyggande?

Att bygga under mark innebär alltid en osäkerhet. Byggmaterialets egenskaper, berget och jorden, är endast delvis känt. Övriga faktorer är mer regel än undantag. Genom förundersökningar, som är mycket resurskrävande, och genom en mer stringent riskanalys försöker man begränsa osäkerheterna och ha beredskap att hantera oönskade händelser.

Att bygga i mark ställer extra stora krav på en stabil, väldefinierad organisation med tydliga kontaktvägar och struktur i arbetet är uppenbart. Osäkerheter som härrör från organisationen (struktur, kompetens etc.) kan ofta reduceras med rimlig insats. Att ha ett kvalitetssystem är att förfoga över ett redskap som syftar till att på ett systematiskt sätt tänka igenom och formulera arbetssätt, ansvar och befogenheter.

Ett kvalitetssystem är således ett verktyg bredvid verktyget "riskanalys" som bidrar till kontrollen över ett byggprojekt. Den stringenta riskanalysen och kvalitetssystemet har samma ansats och syfte, det vill säga att på ett strukturerat och systematiskt sätt hantera en besvärlig verklighet.

De olika typerna av kvalitetssystem betonar och främjar kunskap, kommunikation och delaktighet. Detta är också centralt för ett framgångsrikt undermarksbyggande. Att beskriva markförhållanden som endast delvis är kända och att formulera krav avseende byggande under sådana förhållanden ställer naturligtvis större krav på engagemang och inlevelseförmåga än att ange en littererad komponent med specificerade egenskaper till ett husbygge. Under utförandeskedet är lyhördhet för de verkliga påträffade markförhållandena och förmåga att kommunicera dessa avgörande. För detta krävs såväl kunskap som rätt attityd hos samtliga inblandade grupper på arbetsplatsen.

Konsekvens av fel kan bli stor i undermarksbyggande på grund av brister i kvalitetsarbetet under såväl fasen för produktbestämning, produktframställning som under produktanvändning. Tredje man, byggherre, projektör och entreprenör är

huvudsakligen de aktörer som drabbas av konsekvenserna. Några exempel på konsekvenser som kan vara orsakade av brister i kvalitetssäkringen anges nedan:

- Trafikfara i vägtrafiktunnel på grund av korta siktsträckor (brister i produktbestämning).
- Nedfallande block (felaktigt dimensionerad förstärkning under projektering, brister i skrotning eller förstärkningens utförande under byggfas alternativt under drift av anläggningen).
- Sättningar alternativt vibrationer som påverkar byggnadsverk ovan jord (bristande mätning alternativt underlåtenhet avseende revidering av kontrollprogram).
- Grundvattenpåverkan (medvetet överskridande av tillåten inläckande mängd, bristande mätning, uppföljning och åtgärd alternativt underlåtenhet avseende revidering av kontrollprogram).
- Tunnelras under drift (avsaknad av beständighetskrav på förstärkningsmaterial).

Flera aktuella undermarksprojekt karaktäriseras av alltmer komplexa anläggningsarbeten, till exempel Arlandabanan, Hallandsås-tunneln och Ringen-tunnlarna. Undermarkslösningar utnyttjas dessutom i storstadsmiljöer där konsekvensen av fel kan bli mycket stor. Lundby-tunnlarna i Göteborg, City-tunnlarna i Malmö och Ringen-tunnlarna är exempel på tunnlar i sådan miljö. Det är i dessa miljöer krävande att åstadkomma anläggningar utan att överskrida angiven tillåten omgivningspåverkan och samtidigt uppfylla de krav som ställs på anläggningarnas funktion. En annan typ av anläggning som för närvarande planeras är högtryckslager för naturgas i inklädda berggrum. Konsekvensen av fel kan i detta fallet bli mycket omfattande och kvalitets-säkring inklusive produktbestämningen bör mot denna bakgrund vara en självklar och integrerad aktivitet i undermarksprojekt idag.

Alternativa och ej traditionella entreprenadformer som till exempel BOT och BOOT tillämpas mer både internationellt och i Sverige. I och med att byggherren inte detaljstyr produktbestämningen i denna entreprenadform eller har omfattande kontroll under produktframställningen, vilket normalt är fallet i de mer traditionella entreprenadformerna, kan det förväntas att byggherren vill försäkra sig om att anläggningen projekteras och byggs systematiskt och strukturerat. För anläggningens drift efter övertagandet är dokumentation av slutlig utformning, materialval och eventuellt också designprinciperna nödvändigt och mycket viktigt att överföra till förvaltaren. Genom användning av lämplig kvalitetssäkring tydliggörs för byggherren och entreprenören själv hur kvalitetsarbetet utförs och dokumenteras.

Mot denna bakgrund bör det finnas skäl att upprätta kvalitetsrutiner alternativt förbättra befintliga kvalitetsrutiner.

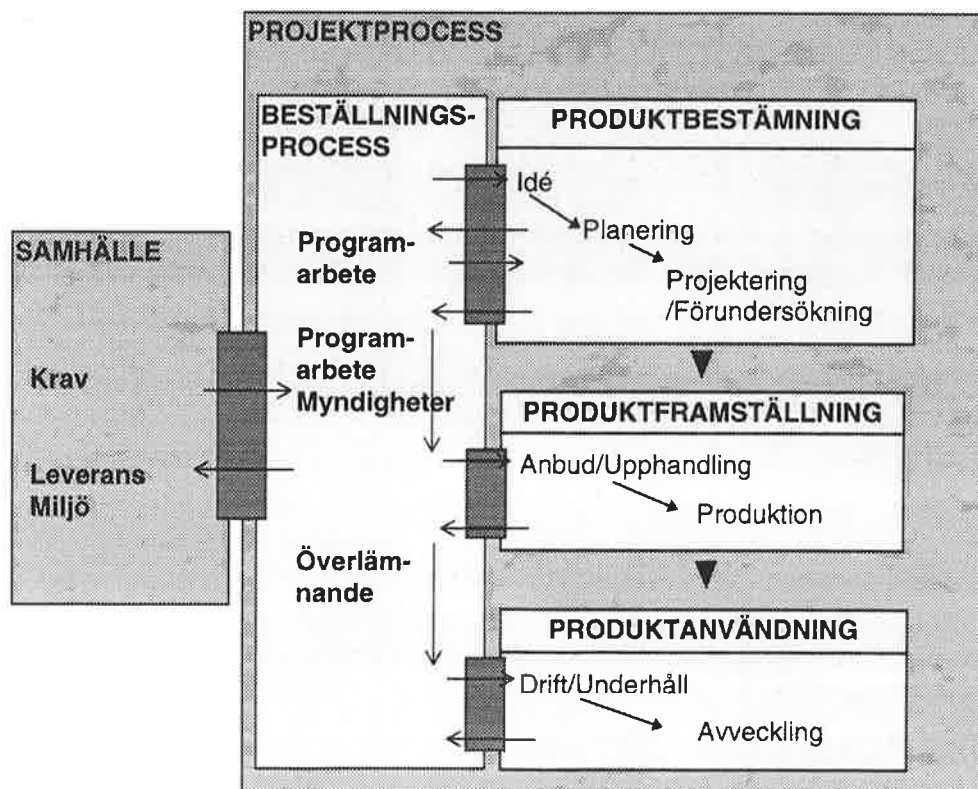
5.2 Kvalitetsarbete i byggprocessen

Enligt en tidigare beskrivning, avsnitt 3.1 Faser - från idé till avveckling, så kan ett projekt delas in i faserna produktbestämning, produktframställning och produktanvändning. Involverar vi dessutom aktörerna byggherre, entreprenör och samhälle i ett större projekt kan det generellt beskrivas genom ett antal processer, enligt Figur 5.1 nedan. En så kallad beställningsprocess kommunicerar med de delprocesser som utgör produktbestämning, produktframställning respektive produktanvändning. Dessutom sker kommunikation mellan projektet och samhället i olika skeden. Enligt detta resonemang består helheten av ett sammansatt flöde av information.

För att erhålla rätt produkt är det viktigt att kunna formulera kraven som ska ställas. Under produktbestämningen ska byggherren formulera krav utifrån sin bild av hur han ser slutprodukten.

En ofta ouppmärksammas fråga men viktig del i byggprocessen är vilka krav vi vill att anläggningen ska uppfylla och för vilka dessa ska uppfyllas. Byggherren har bland annat direkta och egna krav på säkerhet, funktion och beständighet. Dessa överensstämmer mer eller mindre med de som samhället ställer genom byggherren avseende krav på säkerhet och miljö.

Det är en viktig uppgift för byggherren att i programarbetet formulera de krav han ställer för att i upphandling och genomförande tillse att hans önskemål blir tillgodosedda med tillräckligt hög sannolikhet.



Figur 5.1 Generell beskrivning av byggprocess för större anläggningsprojekt. Principiellt efter Stille & Stille (1996)

Kvalitetssäkringens uppgift för de olika faserna/processerna beskrivs nedan och baseras på tolkningar av Stille & Stille (1996) och Wätte & Cassel (1989).

Produktbestämning

I denna fas tas underlag fram för att kunna definiera produkten, vad det är som ska byggas. Vidare omfattar detta skede framtagande och beskrivning av krav och önskemål. För mer traditionella undermarksanläggningar sker detta i form av förundersökningar och projektering. Vid mer komplexa anläggningar behövs ytterligare utredningar alternativt forskningsinsatser för att möjliggöra projektering och genomföra förundersökningar i rätt omfattning. Ett kvalitetssäkringssystem för produktbestämning ska säkerställa att relevant underlag och kravnivå uppfylls. Till exempel ska kvalitetssäkringssystemet kunna användas för att komma fram till lämplig nivå av förundersökningsinsatsen för att projektets byggfas ska kunna genomföras enligt planerat.

Produktframställning

Traditionellt har kvalitetssystem utnyttjats i större eller mindre utsträckning för själva byggfasen. Även om endast någon enstaka entreprenör är formellt certifierad idag så arbetar man inom branschen efter kvalitetsrutiner som presenteras för byggherren i form av en objektspecifik kvalitetsplan i samband med anbudsförfarandet eller byggstart. Oftast skrivs det in i kontraktet att vissa kvalitetsrutiner ska följas. Eftersom mycket personal är involverade i denna fas är kvalitetssäringen viktig för att säkerställa att misstag undviks och att rätt kvalitet erhålls.

Exempel på viktiga frågeställningar som berör kvalitetssäringen under produktframställningen är enligt Olsson et al. (1996) att:

- anpassa totala mängden information som berör produktionen till en rimlig nivå för att undvika att viktig och prioriterad information, t ex angående säkerhet, "drunknar"
- säkerställa att personalen är informerad om kravnivåer och ständigt har en aktuell bild av förväntad geologi och geologiska faror
- ta hänsyn till tidsfaktorn för information och beslut vid indikationer på olika typer av allvarliga situationer eller i akut läge
- finna lämplig befattningsnivå för olika beslut och att då ta hänsyn till om personen i fråga behöver vara på plats ständigt under produktion eller ej
- tillse att projektorganisationen tar tillvara erfarenheter och återför dessa till projektet.

Produktanvändning

I samband med drift och underhåll anges en miniminivå för när åtgärder ska vidtas, till exempel skyddsskrotning. Den bör genom kvalitetssäkring vara i överensstämmelse med de krav som framställts i produktbestämningsfasen.

Beställningsprocessen

Av Figur 5.1 ovan framgår att den så kallade beställningsprocessen dels samverkar med produktbestämning, produktframställning och produktanvändning, dels med samhället/omvärlden. Under beställningsprocessen formuleras hur kvalitetssäkring ska genomföras, d v s tillämpliga metoder för hur kvalitetsarbetet ska genomföras. De vanligast förekommande och/eller intressantaste beskrivs i nästkommande avsnitt, 5.3 Metoder för kvalitetsstyrning.

Byggherren tar under beställningsprocessen ställning till vilken entreprenad-, betalnings- och kontraktsform som anses lämplig och reglerar härigenom ansvarsfördelningen för projektets genomförande.

5.3 Metoder för kvalitetsstyrning

Vilken metod för kvalitetsarbetet är då lämplig att använda inom undermarksprojekt? Kvalitetssäkringsarbetet präglas mycket av företagskulturen, vilka kvalitetssäkrings-system som använts tidigare och vilken mognad som företaget uppnått inom detta område.

Undermarksprojekt är sinsemellan mycket olika till sin karaktär, från vattenkraftstunnlar till bergrumsförlagda gaslager, vilket ställer olika krav på hur kvalitetssäkring genomförs.

En jämförelse med tillverkningsindustrin visar att de olika stegen i processen där är väl specificerade och har kända och ofta väldefinierade material till skillnad mot ett undermarksprojekt. Skillnaden mellan bergbyggnadsindustrin och den tillverkande industrin är uppenbar och visar egentligen att behovet av ett fungerande kvalitetssystem för undermarksprojekt är väl så stort eller större.

5.3.1 Metoder

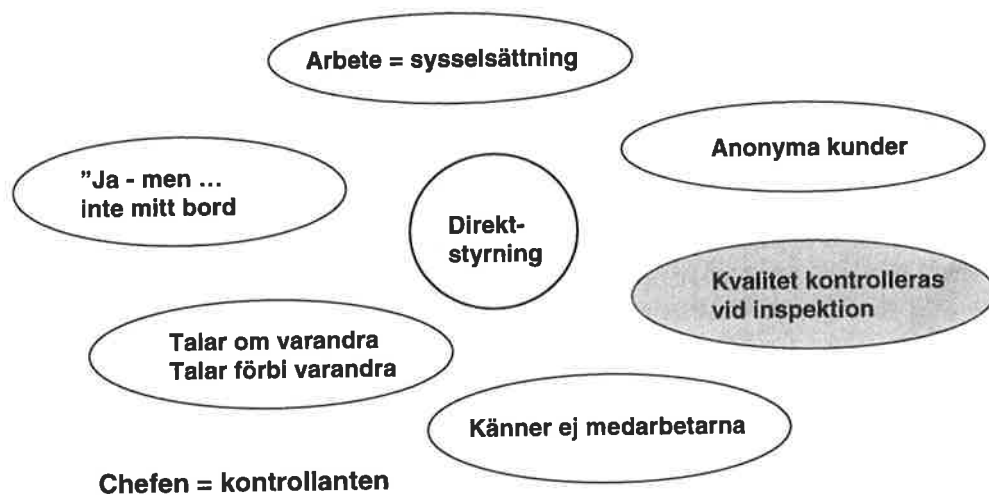
De vanligast förekommande kvalitetssystemen inom byggsektorn är upprättade efter SIS-ISO 9000. Kvalitetssystemen utgörs i praktiken av företagsspecifika kvalitetssystem som avses uppfylla de krav på kvalitetssystem som anges i till exempel SS-ISO 9001. Detta innebär att olika företags kvalitetssystem utgör olika tolkningar av standarden och därmed kan vara mycket olika, såväl avseende omfånget på dokumentationen av systemet som till innehåll, det vill säga vilka rutiner man lagt upp för att möta kraven i standarden. Beroende på hur man väljer att uppfylla kraven i SS-ISO 9000 och på vilka förbättringar man gör i det egna systemet, kan tyngdpunkten ligga antingen förskjuten mot kontroll att inga felaktiga produkter godkänns, eller med tyngdpunkten mot kvalitetsstyrning och sökande av ett arbetssätt som befrämjar delaktighet och önskad attityd. Det senare innebär att man försöker styra och ej enbart kontrollera utfallet och man poängterar ytterligare förbättringar samt den enskildes betydelse för väl

genomförda projekt. Dessa senare system har i allmänhet hämtat inspiration från TQM (Total Quality Management, se nedan), som särskilt betonar den enskilde medarbetarens attityd och beteende. Renodlade TQM-system finns företrädesvis inom andra branscher.

Följande beskrivningar får illustrera olika angreppssätt och mognadsnivåer hos olika typer av "kvalitetssystem. Beskrivningarna av metoderna baseras på Stille & Stille (1996).

Kontrollant

Företaget eller projektet där chefen agerar kontrollant genom direktstyrning alternativt utövar kontroll genom utomstående kontrollanter kan beskrivas enligt figuren nedan.

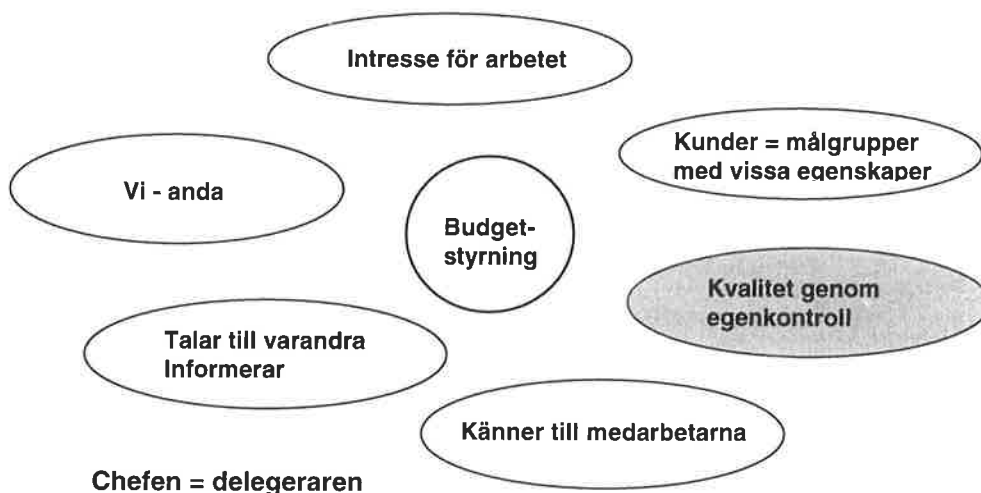


Figur 5.2 "Kvalitetssäkring" i företag/projekt där chefen agerar i rollen som kontrollant

Metoden leder till att medarbetarna inte ser helheten och därigenom riskerar att "lägga krutet" på fel saker. Denna företagskultur är inte helt ovanlig.

Egenkontroll

Steget över "kontrollant" hittar vi hos företag/projekt med chefer som delegerar och som styr företaget eller projektet genom budgetansvar. Den avdelning, enhet eller person som själv utfört arbetet genomför även kontrollen, det vill säga ett delegerat ansvar för kvalitetssäkring.



Figur 5.3 Kvalitetsstyrning i företag där chefen har rollen att delegera

Kvalitet genom egenkontroll är troligen idag den vanligaste förekommande formen för kvalitetssäkring i produktion av undermarksanläggningar. Byggherren överlåter i hög grad kontrollfunktionen till entreprenören som också utför anläggningen.

Kvalitetssystem

Ytterligare ett steg upp avseende kvalitetssäkring finner vi inom företag och projekt som tillämpar kvalitetssystem. Begreppet kvalitetssystem betyder enligt Wätte & Cassel (1989) "organisatorisk struktur, ansvar, rutiner, processer och resurser för att leda och styra verksamheten med avseende på kvalitet". Chefen är i detta fall lagledaren.

Den standard för kvalitetssystem som är mest känd inom industrin är SS-ISO 9000. Den består av fyra olika standarder SS-ISO 9001 - 9004 med följande inriktning enligt Wätte & Cassel (1989):

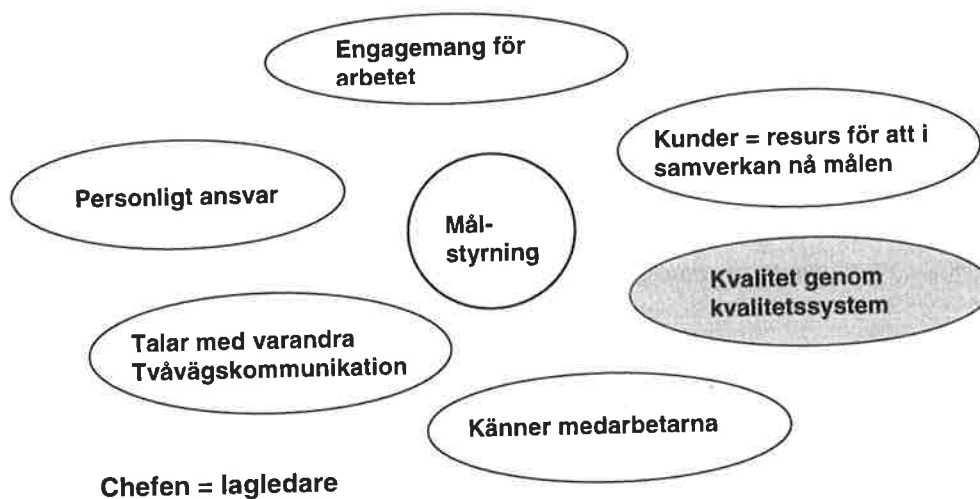
- SS-ISO 9001 är den mest omfattande och innefattar kraven vid idé- och utformningsarbete, utvecklingsarbete, produktion, installation och service. Denna standard kan användas vid projekt från utrednings- och programarbete till driftskede.

- SS-ISO 9002 anger krav vid produktion, installation och service. Kvalitetssystemet kan användas då handlingarna definierar utförandet, som vid exempelvis general-entreprenad med färdiga handlingar.
- SS-ISO 9003 anger krav vid slutkontroll och slutprovning och kan användas vid leveranser då färdiga produkter upphandlas och man ej behöver ta del av bakomliggande krav och överväganden.
- SS-ISO 9004 anger allmänna riktlinjer för hur kvalitetssystem kan införas i företag.

Tillämpning av SS-ISO 9000 innebär att organisationen alltid ska ange vilka kraven är, vilka egenskaper som studerats hos objektet, hur detta skett och vad resultatet blev. Eller med andra ord:

1. identifiera och dokumentera de krav som utgör underlag för konstruktionen
2. styra så att kraven uppfylls
3. verifiera detta.

Härigenom kan anges vilken kvalitet som uppnåtts och påvisa argument och dokument som styrker detta. Dock räcker det inte med att lägga fram en dokumentation. Denna måste också framföras till mottagaren och bli förstådd av dem den riktar sig till.



Figur 5.4 Kvalitetssäkring i företag där chefen agerar lagledare

Flera konsultföretag är idag certifierade enligt SS-ISO 9000, medan endast enstaka byggentreprenörer är certifierade.

Ett intressant påpekande av Stille & Stille (1996) är att processen att fastlägga en tillräcklig nivå på krav och specifikationer för ett projekt ligger utanför vad SS-ISO 9000

Entreprenörerna har mer omfattande arbete vid implementering av kvalitetsmetoder främst beroende av att de har en mycket bred personalsammansättning, varje nytt projekt utförs på en ny plats med nya omständigheter, personalsammansättningen och organisationen skiftar från projekt till projekt. Det finns idag endast något SS-ISO 9000 certifierat byggföretag men det pågår ett arbete inom i alla fall de större entreprenadföretagen mot att uppnå en högre nivå än dagens.

I allmänhet saknar beställarorganisationerna tydliga kvalitetssystem.

Kvalitetsstyrning påverkas idag även av den aktuella entreprenadformen på så sett att vid generalentreprenad tillämpas inspektion med kontrollant eller egenkontroll medan vid funktionsentreprenader tillämpar företagsegna kvalitetssystem eller TQM.

5.4 Diskussion

Vilka är våra behov av kvalitetsmetoder inom undermarksbyggande idag? Det finns faktorer som författaren menar bör leda till en anpassning till en högre nivå än vad som är fallet idag. Dessa är främst ökande krav på utformning, utförande, funktion och större intresse för alternativa finansierings- och entreprenadformer samt ett mer strukturerat arbetssätt.

Behovet av att kunna bygga i storstadsmiljö och på andra sett effektivisera trafiksystemen leder till mer komplexa lösningar och stora projekt. På grund av stränga miljökrav och minimering av annan påverkan av befintliga strukturer ställs här höga krav på såväl produktbestämning som produktframställning.

Alternativa former för projektgenomförande och betalning är till exempel vägtunneln under en fjord, Hvalfjörður, på Island, där entreprenörskonsortiet Fossvirki projekterar och bygger enligt totalentreprenad. Betalningen sker genom en maximerad ersättning under projekterings- och byggskedet. Överskrids motsvarande kostnad sker utbetalning till entreprenörskonsortiet i ett senare skede, nämligen från driften av tunneln via vägtullar. Det bör vara av gemensamt intresse för både byggherre och entreprenör att projektet håller en hög nivå på kvalitetsmetod. Byggherren kan då känna sig säkrare att mottaga en bra slutprodukt med god dokumentation. Entreprenören å sin sida kan genom tillämpning av ett kvalificerat kvalitetssystem sannolikt minska felfrekvens och riskexponering genom kompetent och motiverad personal.

Vilken är då "rätt nivå" för kvalitetssäkring? Något entydigt svar finns naturligtvis inte utan det kan bli en långsam insvängning mot en lämplig nivå. Byggherrar, konsulter och entreprenörer kommer mycket väl att kunna ha olika nivå, även om det vore enklare att arbeta med kvalitet utifrån ett standardiserat system. Den ökande komplexiteten inom undermarksbyggande förväntas bidra till ett ökande intresse hos aktörerna för att snabbare finna en lämplig nivå för sin kvalitetsmetod.

Även om det idag finns kvalitetssäkringssystem som vi tycker borde få genomslag i branschen så finns det svårigheter som innebär att införandet går långsammare än i till exempel mekanisk och elektronisk industri. Förutom att branschen präglas av viss konservatism finns det andra orsaker som försvårar införande av kvalitetssäkringssystem:

- Personalomsättningen är relativt stor mellan olika projekt eftersom personalen normalt är projektanställd
- Projekten kan ofta ha kort varaktighet och varje projekt har olika förutsättningar
- Nya arbetsplatser för varje projekt

För att trots ovanstående svårigheter underlätta införandet av kvalitetssystem bör dessa vara generella, relativt enkla att applicera och att komma in i för ny personal.

6

VERKTYG FÖR KALKYLERING, TIDSPLANERING OCH RISKBEDÖMNING INOM UNDERMARKSBYGGANDE

En nödvändighet i större resurskrävande projekt är att kunna beräkna både kostnad och tidsåtgång. Vi vill kunna göra dessa beräkningar eller bedömningar i olika faser; före, under och efter projektets genomförande. Här behandlas metoder för kostnads- och tidsbedömning som innefattar osäkerheter om utfallet, det vill säga prognoser.

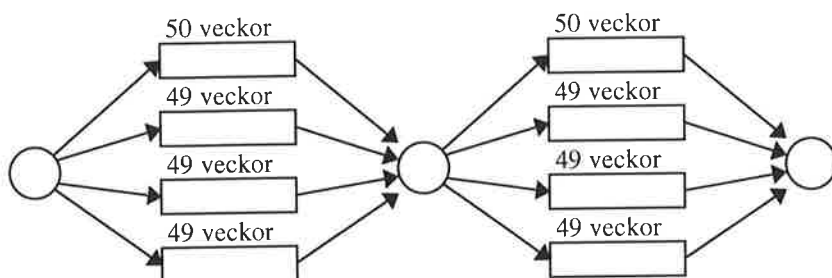
Som ingångsparametrar används erfarenheter från liknande projekt i den mån sådana finns att tillgå. Emellertid har projektens karaktär inom branschen förändrats mot att vara både mer omfattande och komplexa. Några exempel på detta är: Arlandabanan med mycket kvalificerade sprängningsarbeten och andra anläggningsarbeten i anslutning till befintliga anläggningar med pågående verksamhet, Hallandsås med svårhanterliga vatten- och stabilitetsproblem samt Äspö-laboratoriet med anläggningar hundratals meter under havsytan.

För att genomföra tids- eller kostnadskalkylering kan man använda de mer traditionella deterministiska metoderna eller stokastiska. I de deterministiska metoderna behandlas ingångsvärdena som säkra och det kalkylerade slutvärdet som säkert. I stokastiska metoder tillskriver man ingångsvärden såväl som resultatet en osäkerhetsfördelning.

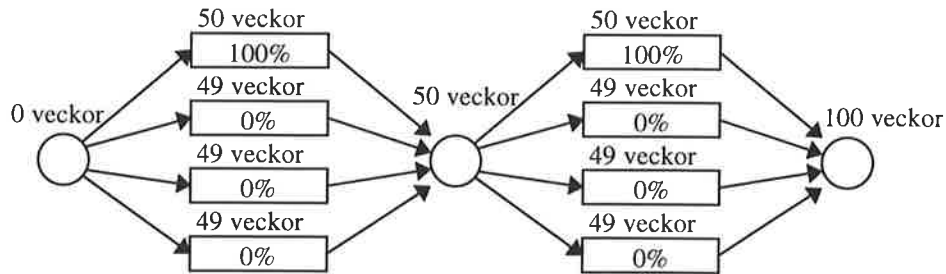
Både deterministiska och stokastiska metoder har sina fördelar och naturliga tillämpningar. Deterministiska bör användas då vi har säkra ingångsvärden, det vill säga då projektets kostnad och tid ska sammanställas i efterkalkyler eller liknande. I de fall vi ska ställa prognos, det vill säga vi har osäkra ingångsvärden, så är stokastiska metoder tillämpliga.

Exempel

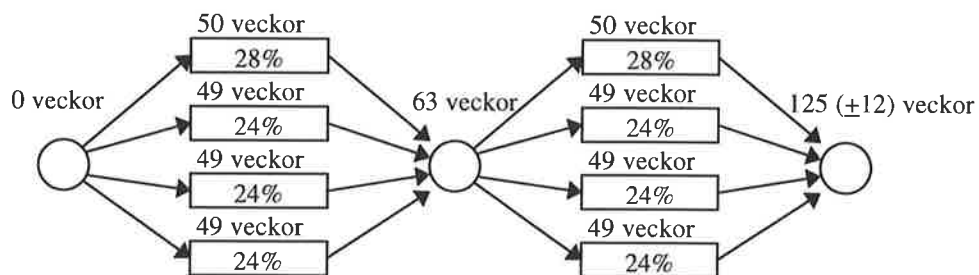
För att illustrera osäkerhetens betydelse för tidsplanering så redovisas inledningsvis ett exempel ur Lichtenberg (1990). Den förenklade tidsplanen i Figur 6.1 nedan beskrivs som ett processdiagram. Vardera ruta beskriver en aktivitet och det troliga antalet veckor för att genomföra respektive aktivitet anges ovanför respektive ruta.



Figur 6.1a



Figur 6.1b



Figur 6.1c

- Figur 6.1 a) Nätverksexempel i form av ett processdiagram. Rutorna representerar aktiviteter, medan pilarna anger bindningar mellan dessa. Aktiviteternas troliga tidsåtgång i veckor anges ovanför respektive ruta.
- b) Resultatet av en traditionell nätverksberäkning med en total varaktighet på 100 veckor. Procenttalen i rutorna anger sannolikheten för att aktiviteten ska bli kritisk.
- c) Resultatet med mera realistiska förhållanden. Det finns enligt figuren en sannolikhet att även de andra aktiviteterna än de översta kan bli kritiska. Trolig sluttid 125 veckor (± 12). Efter Lichtenberg (1990)

Vid valet av en deterministisk tidsplanering, vilket ofta är det som i praktiken väljs, är de två övre aktiviteterna kritiska och de övriga okritiska vilket leder till en total tid på 100 veckor.

Med en mer relevant tidsplanering tas hänsyn till att inte enbart de två övre aktiviteterna kan bli kritiska utan att det förekommer variationer kring medelvärdet. Var enskild aktivitets tidsåtgång varierar varför den totala tiden också kommer att variera. Praktiskt i detta exempel, se Figur 6.1c, mellan 100 och 150 veckor med 125 veckor som förväntat värde.

Kapitlet är en sammanställning av de hjälpmedel i form av verktyg eller metoder som används för tids- och kostnadskalkylering samt vid risk- och beslutsanalys. Flertalet av metoderna har använts för undermarksprojekt även om de långt tidigare och huvudsakligen nyttjas inom andra branscher.

I rapporten "Besluts och riskanalys samt statistiskt synsätt inom undermarksbyggandet" redovisar Sturk flertalet av de metoder som presenteras här i kapitlet. Även om indelningen här är något annorlunda så härstammar stora delar av föreliggande kapitlet från nämnda rapport, Sturk (1996).

6.1 Sannolikhetsbaserade metoder

För att lösa problem som innefattar osäkerheter av den typ som vi ställs inför, har det visat sig att det är mycket användbart att arbeta med metoder där vi kan ansätta osäkerheterna som stokastiska variabler. Genom att ansätta sannolikheter för händelser eller ett specifikt utfall är det möjligt att genom beräkningar kvantifiera ett utfall och också i flera fall ange detta utfalls sannolikhet.

Nedanstående metoder kan hantera stokastiska variabler och ger också i vissa fall ett resultat uttryckt som fördelningsfunktion.

6.1.1 Successiva metoden

Beskrivning

Successiva metoden är en approximativ metod för beräkning av funktioner med stokastiska variabler, som presenterades i Danmark av Lichtenberg 1971, se vidare Lichtenberg (1990). Ytterligare artiklar och kompendium som beskriver metoden har publicerats, till exempel av Honoré & Lichtenberg (1978) och Möller & Ögård (1983).

Den så kallade successiva metoden används företrädesvis i tillämpningar när stora osäkerheter ska hanteras. Metoden består av två delar med successiv kalkylering för kostnadsberäkning av till exempel budget eller lönsamhetsanalyser och successiv planering för tidsplanering.

Successiv kalkylering bygger på en arbetsgång i 7 steg:

1. Välj ut ett antal (få) oberoende huvudposter.
2. Skatta varje posts kostnad med tre värden; extremt min, mest troligt och extremt max.
3. Bestäm respektive posts väntevärde och osäkerhetstal (prioritetstal) med hjälp av skattningarna.
4. Beräkna totalsumma och totala variansen för kostnaden.

5. Bedöms då totalvariansen vara för stor så uppdelas den post som har störst inflytande på osäkerheten, det vill säga har störst osäkerhetstal, i mindre oberoende delposter.
6. Moment 2-5 upprepas tills en acceptabel total varians erhållits eller tills den dominerande osäkerheten härrör ur en post som inte är möjlig att förbättra eller specificera ytterligare.
7. Resultatet presenteras i form av medelvärde och kalkylens standardavvikelse.

Successiv planering följer samma arbetsgång med kompletteringen att nätverk med beroenden mellan aktiviteter ställs upp inledningsvis.

Metoden bygger på normala men förenklade statistiska regler. De ingående stokastiska variablerna anses vara Erlangfördelade och fastställs i praktiken av max/troligt/min enligt steg 2 ovan.

En enskild posts relativa påverkan på den totala variansen i beräkningen anges av det så kallade prioritetstalet. Prioritetstalen värderas enligt arbetsgången ovan.

Metoden bygger på statistiskt oberoende kalkylposter. Skulle så inte vara fallet, utan det finns allmänna kostnader eller tider som påverkar kalkylen generellt ska dessa brytas ut som "generella faktorer". Dessa behandlas sedan separat som egna kalkylposter. Exempel på generella faktorer är lönekostnad, myndighetsproblem, väder, kvalitetsnivå etc.

Tidigare tillämpningar

Sin mest utbredda användning har successiva metoden haft i ursprungslandet Danmark, där den huvudsakligen utnyttjats i bygg- och anläggningsindustrin men även haft viss tillämpning i rena utvecklingsprojekt där stora osäkerheter måste kunna hanteras. Metoden har även använts i andra länder, bland annat Sverige, med tillämpning i tunnelprojektet under Stora Bält, vid byggande av bergrum för gasollagring i Karlshamn och vid utbyggnad av det svenska naturgasnätet.

Begränsningar/Möjligheter

Följande för och nackdelar kan förknippas med metoden:

- + Med det successiva förfaringssättet ges en bra helhetsbild samtidigt som man på ett strukturerat sätt penetrerar olika delposter och bedömer deras påverkan på helheten.
- + Metoden bidrar till ett effektivt arbetssätt genom att man med en relativt begränsad arbetsinsats snabbt kommer till ett resultat med angiven kalkylosäkerhet.
- + Osäkerhetstal på enskilda poster.
- + Metoden ger en total överblick över osäkerheterna och därmed riskerna.
- Totalkostnaden anges i kalkylresultatet som en normalfördelning. För att normalfördelning ska gälla krävs att totalkostnaden består av ett stort antal delposter.
- Viss svårighet att hantera ej oberoende variabler.
- Uppskattningen av extremt minimum och extremt maximum ska motsvara 1% respektive 99% fraktilen. Praktiskt sett undervärderar människor detta intervall och hamnar snarare på 10% respektive 90% fraktilen.

6.1.2 PERT

Beskrivning

Tidsplanering som hanterar osäkerhet togs fram i samband med det amerikanska Polarisprojektet i slutet av 50-talet, se Malcolm et al. (1959) och Hammarlund (1977). Polarisprojektet ansågs inledningsvis innebära ett tekniskt - ingenjörsmässigt problem, men det visade sig snart att de största problemen uppstod med koordinering och planering av 250 huvudleverantörer och 9000 underleverantörer. En försening hos någon av leverantörerna skulle kunna få allvarliga konsekvenser. En projektgrupp tillsattes för att ta fram helt nya tidsplaneringsmetoder, vilket resulterade i PERT, Program Evaluation and Revue Technique.

Tidsåtgången för varje aktivitet är en stokastisk variabel med en sannolikhetsfördelning som anses kunna representeras av β -funktionen. Metoden använder trippel skattning för var tidsuppskattning: optimistisk tid, mest trolig tid och pessimistisk tid, jämför successiva metoden avsnitt 6.1.1. Vardera aktivitets tidsdata ingår i en nätanalys varvid väntevärde och varians för den totala tiden erhålls med hjälp av centrala gränsvärdesatsen. Resultatet presenteras som en beskrivning av att hur stor sannolikhet det är att projektet avslutas inom ett fastställt antal veckor.

Begränsningar/Möjligheter

Likheterna är stora med successiva metoden och PERT har vissa av denna metods fördelar. PERT är äldre än successiva metoden och har vid jämförelse vissa begränsningar:

- + Osäkerhetsbeskrivning för tidpunkter längs kritiska linjen och för totala tiden.
- Generella osäkerhetsfaktorer undervärderas eller negligeras.

6.1.3 MonteCarlo simulering

Beskrivning

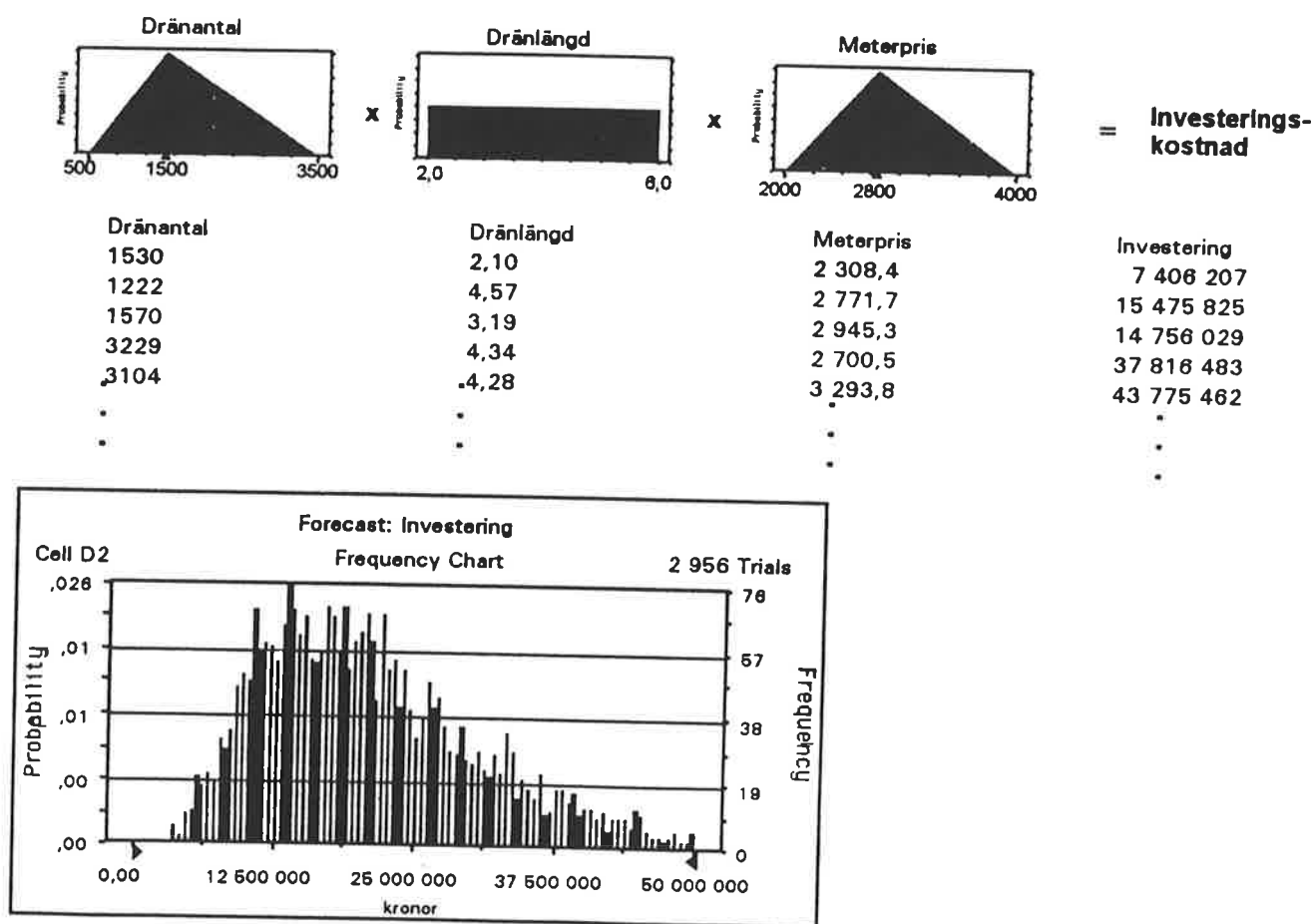
Den typ av problem vi ofta ställs inför innebär ju att vi vill kunna beräkna uttryck som bland annat innehåller stokastiska variabler. Analytiska lösningar av denna typ av problem kan vara mycket komplicerade om en analytisk lösning överhuvud taget existerar. Genom att istället använda simulering kan en approximativ lösning tas fram. MonteCarlo simulering är en relativt vanligt förekommande metod, se Benjamin & Cornell (1970).

Den aktuella funktionen med ingående stokastiska variabler och eventuella konstanter ställs upp. Fördelningsfunktionen för respektive stokastisk variabel anges. En approximativ lösning kan genom simulering beräknas. I varje simuleringssteg beräknas funktionen som ett stickprov där de stokastiska variabelernas värde ingår med slumpvis utfall i förhållande till fördelningsfunktionen. Ju större antal simuleringssteg som utförs desto mer representativ blir respektive stokastiska variabels fördelningsfunktion, vilket

innebär riktigare resultat. Efter det valda antalet simuleringar kan resultatet presenteras i form av ett histogram samt medelvärde, standardavvikelse och andra statistiska parametrar.

Ett åskådliggörande exempel i Sturk (1996) återges nedan. Exemplet är en MonteCarlo simulering av investeringskostnaden för insprutade väggdräner i tunnlar. Investeringskostnaden består av produkten av de stokastiska variablerna dränantalet, dränlängden och kostnaden per meter för dränerna.

I exemplet Figur 6.2 nedan redovisas de antagna stokastiska variablernas fördelningsfunktion samt därunder utfallen för de fem inledande simuleringstegen. Totalt genomfördes knappt 3000 simuleringsteg vars utfall redovisas i histogram.



Figur 6.2 MonteCarlo simulering av kostnad för insprutade dräner i bergtunnlar, efter Sturk (1996)

Tidigare tillämpningar

MonteCarlo simulering är en använd metod inom flera ingenjörscienciner, bland annat för att hantera geologiska, geotekniska problem och inom miljöområdet.

Specifik tillämpning med MonteCarlo simulering för byggbarhetsanalys redovisas exempelvis i Sturk et al. (1994).

Begränsningar/Möjligheter

Följande för- och nackdelar är värderade utifrån erfarenheter som erhållits från hittills genomförda projekt:

- + Med simulering erhålls ett kraftfullt verktyg som löser problem med ingångsdata i form av stokastiska variabler.
- + Programvaran för datorer är av typen tilläggsprogram till "spread-sheet" program, vilket förenklar programmeringen. MonteCarlo simulering är relativt lätt att använda.
- + Kan hantera korrelation mellan variabler
- + Resultatet innehåller fördelningsinformation vilket inte är fallet i Point Estimate Metoden eller β -metoden.
- Komplicerade beräkning och många simuleringssteg kan ta relativt lång tid. Även på moderna snabba datorer.
- Detaljerad beskrivning av fördelningsfunktionens små sannolikheter i ändarna (svansar) kräver ett stort antal simuleringar.

6.1.4 Point Estimate Metoden (PEM)

Beskrivning

Metoden resulterar i bestämning av 2, 3 eller 4 av momenten medelvärde, varians, skevhet och toppighet för funktionen $y=f(x)$, då vi känner motsvarande moment för en stokastisk variabel x . Metoden presenterades först av Rosenbleuth (1975) men tillämpning på geotekniska problem presenteras av Sällfors (1990).

Med ett måttligt antal variabler så är den matematiska hanteringen relativt enkel. Ett stort antalet kombinationer behöver beräknas då många variabler ingår i funktionen., nämligen $2^{(\text{antalet variabler})}$. Med måttlig försämring av noggrannheten har Harr (1989) visat att antalet beräkningar kan minskas till $2 \cdot (\text{antalet variabler})$.

Begränsningar/Möjligheter

Metodens sammanfattande för och nackdelar är enligt Sturk (1996):

- + PEM är en relativt enkel metod med hög noggrannhet.
- + Metoden är lämpad för analys av många variabler.
- Fördelningsinformationen försvinner vid analysen.

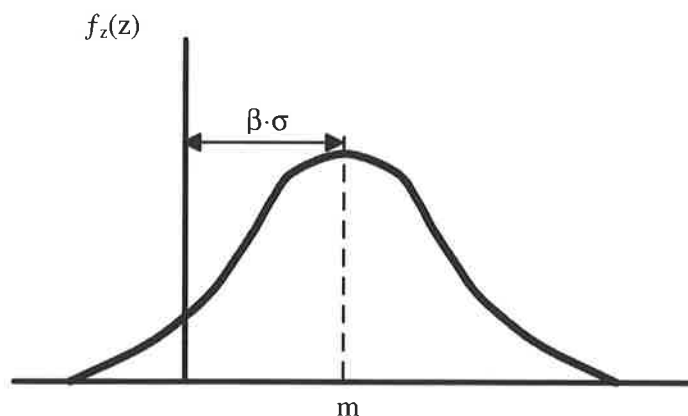
6.1.5 β -metoden

Beskrivning

β -metoden innebär i korthet undersökning av en konstruktions beräkningsmässiga tillförlitlighet, genom att formulera hur troligt det är att konstruktionen ska överskrida en matematiskt formulerad gräns som används som skiljelinje mellan acceptabelt tillstånd och brott, se Olsson (1986).

Genom ett avståndsmått β , anges hur långt det är till brottgräns, det vill säga avståndet mellan troligaste värdet och brottgränsen, se Figur 6.3 nedan. De ingående parametrarnas osäkerhet beskriv genom medelvärde och varians.

Nödvändiga förutsättningar för att metoden ska gå att tillämpa är dels att ett matematiskt uttryck för gränsen till brott kan formuleras, och dels att osäkerheten kan översättas till stokastiska variabler.



Figur 6.3 Principiell figur som åskådliggör β -metodens princip, tolkning efter Olsson (1986)

Begränsningar/Möjligheter

Följande för- och nackdelar har β -metoden enligt Sturk (1996):

- + Möjlighet att hantera många variabler även korrelerade.
- + Metoden är snabb och har en hög noggrannhet.
- + Metoden är väl utvecklad avseende teoribildning och mjukvara.
- Datorstöd krävs.
- Fördelningsinformationen försvinner.

6.2 Riskanalysmetoder

Bedömning av risker har länge gjorts i olika sammanhang och har blivit ett alltmer angeläget område för oss som arbetar med geologiska material.

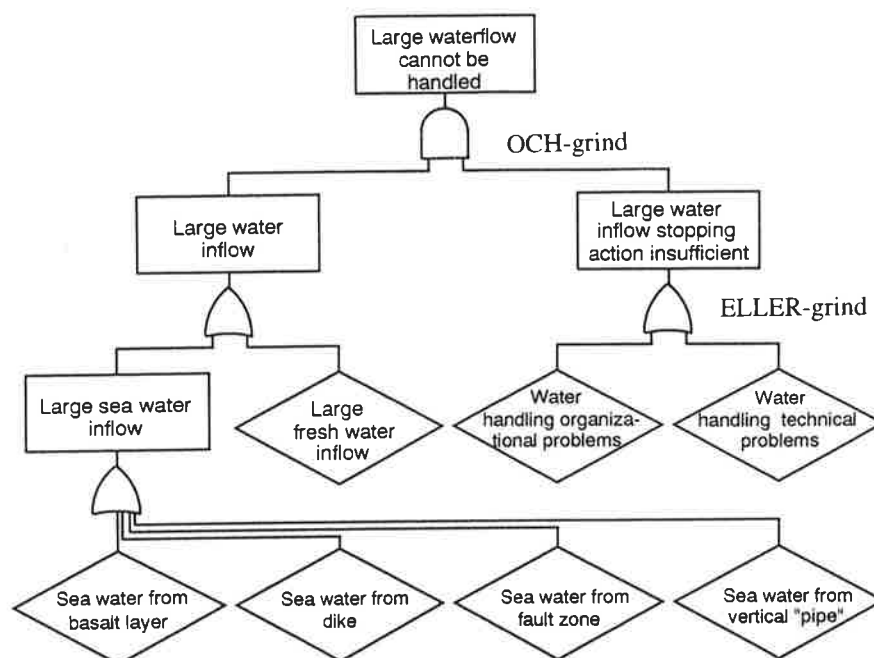
Det är huvudsakligen tre typer av problem som vi vill och kan lösa med hjälp av riskanalytiska metoder, nämligen att identifiera risker, kvantifiera dem samt att åskådliggöra orsakssamband eller händelsekedjor.

6.2.1 Felträdsanalys

Beskrivning

En felträdsanalys kan användas för att analysera den eller de enskilda eller kombinerade orsaker som föregår en negativ händelse. En mer detaljerad beskrivning redovisas till exempel av Rausand (1991).

Tekniken är att fråga sig vilka fel eller händelser som föregår ett negativt tillstånd, den så kallade topphändelsen, och successivt bygga upp en underliggande trädstruktur uppifrån och ned, ett felträd. Beroendena mellan olika händelser regleras med hjälp av de logiska operationerna ELLER alternativt OCH. För enskilda, uteslutande händelser används ELLER-grindar och för händelser som måste kombineras för att OCH-grinden ska gälla. Se exempel i Figur 6.4 nedan.



Figur 6.4 Exempel på felträd från studie av risker i samband med tunneldrivning under havsbotten, efter Olsson et al (1996)

Felträdsanalys kan utföras både med och utan kvantifiering av sannolikheter för olika händelser. Den kvalitativa felträdsanalysen används ofta för att bättre förstå ett system och på vilka olika sätt fel kan uppstå.

Kvantitativ felträdsanalys innebär att de yttersta delhändelserna, så kallade bashändelserna, åsätts sannolikheter. Härigenom kan felträdet beräknas via grindarna med Boolesk algebra, och ett slutligt resultat uttryckt som en sannolikhet för topphändelsen erhålls.

Tidigare tillämpningar

Felträdsanalys används inom flera olika industrigrenar. Inom kärnkraftsindustrin är felträdsanalys ett välkänt verktyg vid genomförande av riskanalyser. Även inom process- och verkstadsindustrin utnyttjas felträdsanalys för att strukturera problem.

Felträdsanalys inom undermarksbyggande har tillämpats i Sverige vid några fall för projekt med komplicerade samband. En systemanalys har genomförts för ett tunnelprojekt på Island, Hvalfjörðurtunneln, se Olsson et al. (1996). Felträdsanalys har utnyttjats dels för att identifiera och förstå samband avseende geologiska faror och dels avseende organisatoriska faror. Inom Ringenprojektet i Stockholm har felträdsanalys utnyttjats och presenterats av Olsson & Sturk (1994a och 1994b) samt Johansson et al. (1995).

Begränsningar/Möjligheter

De tillämpningar av felträdsanalys på Ringenprojektet har visat att metoden kan användas för den typ av problem som var aktuella där. Sturk (1996) framhåller baserat på dessa erfarenheter, följande för- och nackdelar med metoden:

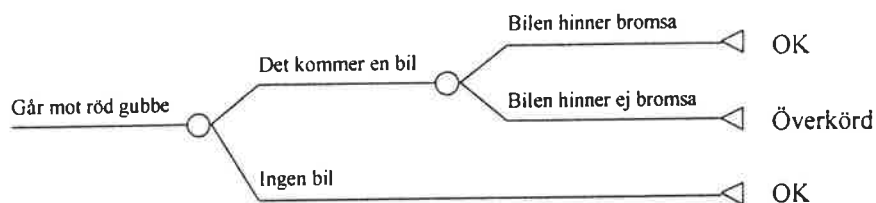
- + Komplexa problem med många händelser som samverkar kan struktureras och ge en överblick.
- + Statistiskt underlag saknas ofta för bashändelser, men genom att analysera utfall för olika analyserade alternativ kan sannolikheter för topphändelser beräknas.
- Uppdelning i lämpligt antal grenar kan påverka topphändelsens sannolikhet. Ett stort antal grenar, det vill säga hög detaljeringsgrad, kan ge en för hög sannolikhet för topphändelsen. Man brukar emellertid också säga att topphändelsen får en för låg sannolikhet eftersom antalet grenar ofta underskattas. Det är också känt att lågsannolika händelser ofta ges för höga sannolikheter.
- Åsättandet av subjektiva sannolikheter och expertuppskattningar är centralt för geologiska och hydrogeologiska måste bli mer stringent. Problemet är inte specifikt för felträdsanalys med blir uppenbart då dessa analyser ofta genomförs
- Metoden kräver vid uppbyggnad av trädstrukturen både kunskap om felträdsanalys och det specifika problemet.

6.2.2 Händelseträdsanalys

Beskrivning

Händelseträdsanalys används för att beskriva hur en initial händelse kan utvecklas i olika möjliga sekvenser till något definierat sluttillstånd. Ett enkelt exempel på händelseträd som åskådliggör principen visas i Figur 6.5. I händelseträdsanalys byggs trädstrukturen upp från vänster till höger med två alternativa vägar i vardera grenpunkt för vidare utveckling av påföljande händelse. Vidare beskrivning av Ang & Tang (1984) och Rausand (1991).

Händelseträdsanalysen är användbar för att beskriva skadeförlopp samt kopplingen mellan händelse och utfall. Genom att ansätta sannolikheter för de olika utfallen erhålls en kvantitativ analys.



Figur 6.5 Principiellt händelseträd för händelsen; fotgängare går mot rött ljus utan att se sig för. Ringar = utfallsnoder, trekantar = slutnoder. Efter Sturk (1996)

Tidigare tillämpningar

Händelseträdsanalys är såvitt känt ej använt i någon större utsträckning inom undermarksbyggande. Ett exempel på användning är i samband med en systemanalys för ett tunnelprojekt på Island, Hvalfjörðurtunneln, se Olsson et al. (1996). Metoden användes dels för att beskriva och studera möjliga händelser i samband med geologiska faror och dels för att åskådliggöra händelsekedjor för information och beslutsgång i projektet i samband med uppträdande av geologiska faror. Ett annat exempel där metoden kommit till användning är i Ringenprojektet, se Johansson et al. (1995).

Begränsningar/Möjligheter

Metoden bedöms ha följande för- och nackdelar:

- + Händelseförlopp och utfall kvantifieras.
- + Metoden är enkel att förstå och hantera.
- Trädstrukturen innebär vid analys av stora komplexa problem att händelseträden blir så stora att de kan bli oöverskådliga.

6.3 Beslutsanalys

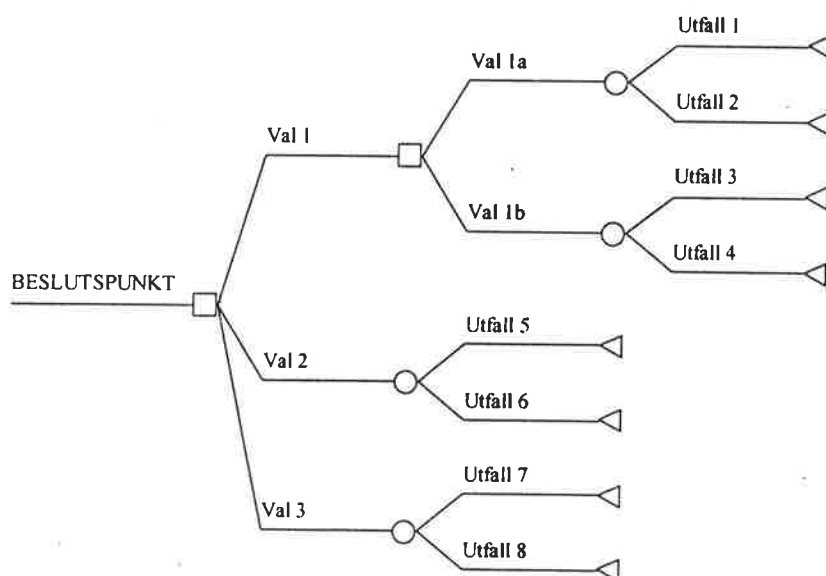
6.3.1 Beslutsträdsanalys

Beskrivning

Beslutsträdsanalys utnyttjas för att analysera det bästa beslutet baserat på den tillgängliga informationen. Metoden beskrivs för ingenjörsmässiga applikationer av Ang & Tang (1984) och Benjamin & Cornell (1970).

Trädstrukturen byggs upp från vänster till höger liksom för händelseträdsanalys (ett beslutsträd kan ses som uppbyggt av flera händelseträd), jämför avsnitt 6.2.2. Ett beslutsträd innehåller dels beslutsnoder (kvadrater) och utfallsnoder (cirklar), se principiellt beslutsträd i Figur 6.6. Beslutsfattaren kan själv göra ett val av väg i beslutsnoderna medan vägvalen i utfallsnoderna representeras av sannolikheter.

Resultatet av analysen blir den väg genom trädet som representerar den största förväntad nytta alternativt en lägsta förväntad kostnad.



Figur 6.6 Principiellt beslutsträd. Kvadrater = beslutsnoder, cirklar = utfallsnoder och trianglar = utfallsnoder. Efter Sturk (1996)

Tidigare tillämpningar

Beslutsträdsanalys tillämpas inom till exempel byggindustrin, se Benjamin & Cornell (1970) och Jaselskis & Russel (1992). För tillämpningar inom geotekniken och undermarksbyggande nämner Sturk (1996) följande referenser Einstein et al. (1977), Einstein & Baecher (1993), Olsson & Stille (1980) och Freeze et al. (1995).

Dessutom har inom Ringenprojektet beslutsträdsanalys utnyttjats för att ta fram underlag för beslut om bästa konstruktiva utformning, se Johansson et al. (1995).

Begränsningar/Möjligheter

Många av de beslut som ska fattas inom undermarksbyggande innefattar ofta stora osäkerheter. Med beslutsträdsanalys finns ett hjälpmedel för en strukturering av beslutsunderlag. Sturk (1996) har värderat metoden enligt följande:

- + Enkel att utföra med dator, och ger åskådligt resultat.
- + Den grafiska presentationen av trädstrukturen är tydlig.
- + Datorbehandling ger möjlighet till känslighetsanalys av resultatet.
- Liksom för händelseträdsanalys blir träden vid komplexa beslutsproblem stora och överskådliga

6.4 Investeringskalkyl

6.4.1 LCC-analys

Beskrivning

För en värdering av en anläggningsinvestering kan anläggningens kostnad under dess "livstid" beräknas, den så kallade livscykelkostnaden (LCC). Metoden beskrivs till exempel av Westin (1989) med applikationer i byggbranschen.

I en LCC-analys för ett anläggningsprojekt tar man med kostnaderna under anläggningens bedömda livslängd nämligen material, tillverkning, montage, drift, underhåll, driftstopp, utbyte vid förslitning samt restvärde. Med den långa livslängd på 50-100 år som är normalt förekommande för undermarksanläggningar och ibland ännu längre tider, så får kostnadsfördelningen i tiden en större betydelse. Till exempel får varje krona i investering en större betydelse än varje krona som läggs på till exempel underhåll år 30. Det matematiska uttrycket för livscykelkostnaden kan uttryckas:

$$LCC = AC + IC + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1+r)^i} + \sum_{j=1}^a \frac{(A_j - R_j)}{(1+r)^{i(j)}}$$

där,	AC	=anskaffningskostnaden för materialet eller produkten
	IC	=tillverknings- och/eller montagekostnaden
	C _i	=operationskostnaderna år i (för kontroll, underhåll, drift, stillestånd)
	A _j	=kostnaden för det j:te utbytet av förbrukat system
	R _j	=restvärdet hos det utbytta eller förbrukade systemet
	r	=realränta =(n-q)/(1-q), där n=kalkylränta och q=inflationen
	a	=antalet utbyten under livscykeltiden
	N	=livscykeltiden för anläggningen i år

Tidigare tillämpningar

Inom kraftindustrin utnyttjas metoden främst för att bedöma olika alternativa investeringar i utrustning. Drift och underhåll är stora kostnadsposter och är därigenom viktiga att inkludera i bedömningen vid val av utrustning. LCC-analys har visat sig vara en effektiv metod.

Metodens användning inom bygg- och anläggningssektorn bedöms vara relativt liten. Inom Ringenprojektet har LCC-analys kommit till användning vid rekommendation för val av konstruktionslösning för vägg och tunneltak med hänsyn till drift och underhåll, Johansson et al. (1995).

Begränsningar/Möjligheter

Följande för- och nackdelar har metoden för tillämpningar inom undermarksprojekt:

- + Kostnader som ligger långt fram i tiden som till exempel reparation och utbyte glöms inte bort utan tas med i kalkylen.
- + Tekniska lösningar med klenare konstruktioner innebärande låg investering och högt underhåll, reparation och utbyte kan på ett stringent sätt jämföras med konstruktioner av motsatt typ.
- För undermarksanläggningar vilka normalt har lång livslängd kan framtida kostnader vid felbedömning av kalkylränta och inflation få oproportionerligt hög alternativt låg andel av totala LCC.

7 DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE

7.1 Diskussion

7.1.1 Risktagande

I föreliggande rapport belyses de ofta stora osäkerheter som existerar eller upplevs av respektive aktör vid undermarksbyggande. Olika aktörer visar sig naturligtvis ha sina specifika behov, men gemensamt för parterna är behovet att bättre kunna bedöma risker.

Fördelning av risker inom undermarksprojekt är en frågeställning som det finns många synpunkter på. Det finns möjlighet att köpa sig fri från "risken" genom försäkringar eller genom avtal mellan aktörerna, något som tillämpats på senare tid med olika resultat. Det kan skönjas ett mönster där vana beställare själva vill stå för större styrning och risktagande i motsats till beställare som är relativt nya och ovana.

Rent principiellt, och för att optimera kostnad/utförande, borde den som bäst kan bedöma riskerna också vara den som står för risktagandet. Bäst kunskap för att kalkylera risken har oftast den som har genomfört platsundersökningar och projektering, varför det faller sig naturligt att denna part också tar ett större ansvar för till exempel avvikelser från prognosen. I flertalet fall är det byggherren men det finns idag även exempel på projekt där entreprenören står för den större kunskapen.

7.1.2 Kommunikation, kompetens och helhetssyn

Ett centralt begrepp för att öka projektets möjligheter att hantera de olika byggfarorna är information. För att erhålla ansvarstagande från alla inom organisationen krävs att personalen i allmänhet är medvetna om förekommande faror i projektet och hur dessa är tänkta att hanteras. För närmast berörd personal är det nödvändigt att ha en direkt kunskap om problem och möjligheter.

För att informationsflödet ska fungera krävs att informationen uppfyller vissa grundläggande kriterier, enligt Rollenhagen (1995):

- hög kvalitet (ändamålsenlig, begriplig, motsvara förväntningar, transparent),
- mängden information måste anpassas,
- tidspassningen måste vara riktig liksom den hastighet med vilken informationen presenteras.

Begreppet "mänskliga faktorn" används ofta felaktigt då man ska förklara orsaken bakom till exempel en olycka. I själva verket visar det sig ofta vid en närmare orsaksanalys att det egentligen är kombinationer av mänskligt beteende, brister i säkerhetsorganisationen, brister i teknik och ekonomi som sammantaget leder till olycka.

Det bör mot denna bakgrund vara angeläget för projektmedarbetarna att se till att helheten fungerar, det vill säga relationerna mellan medarbetarna, arbetsrutiner, tekniken m.m. Det stöd som behövs i projektet för att undvika felaktigt handlande och som är väsentligt för ett lyckat genomförande är kvalitetsplaner med specificerade befogenheter, ansvar och informationsvägar.

God yrkeskunskap och förhandlingsvana är väsentliga egenskaper i samband med praktiskt undermarksbyggande. Ett exempel på nyckelpositioner där "rätt man på rätt plats" kan vara avgörande för ett undermarksprojekts goda genomförande är byggherrens bygglédare och entreprenörens platschef. Genom ett bra samarbete dem emellan finns en bra bas för att uppnå god kvalitet och ett gott resultat i projektet. Skulle de ej kunna samarbeta så ökar risken att projektet skadas.

God kommunikation inom ett projekt är viktigt och behandlas av till exempel Rollenhagen (1995) och Muir Wood (1994). Den senare menar att väsentliga problem kan uppstå om till exempel en geolog i sina beskrivningar använder en kombination av kunskap och antaganden och ingenjören ej inser denna skillnad. Vidare beskriver Muir Wood tre nivåer av förståelse som är viktiga att känna till nämligen medvetenhet, kompetens och expertis. Medvetenhet är en grundläggande nivå av förståelse av andra projektdeltagares bidrag. Kompetens är förmågan att uttrycka förväntningar, begränsningar och slutsatser från andra projektdeltagares områden. Expertis innebär den fulla förmågan att utöva en funktion i ett projekt. Som nyckelperson behöver man en medvetenhet om hela projektet och allt som har någon betydelse för det område man är expert på. Projektdeltagare som har direkta diskussioner avseende en viss aspekt på projektet behöver kompetens för att möjliggöra en meningsfull dialog. Saknas denna kompetens innebär det fara.

7.2 Fortsatt arbete

Ett centralt område för flertalet aktörer inom undermarksprojekt är prognostisering av kostnad och tid, ofta för att ligga som grund för beslut. Behovet att göra prognoser av kostnad och tid finns både inför och under ett undermarksprojekts genomförande och berör samtliga tre projektfaser, produktbestämning, produktframställning och produktanvändning.

Lyckas vi få med de relevanta farorna och bedöma dessa på ett riktigt sätt i kalkyler så kommer detta att underlätta riskhanteringen och förbättra möjligheterna till bra prognoser. "Relevanta faror" måste omfatta såväl geologiska faror, byggtekniska faror, miljömässiga faror som faror orsakade av brister i kommunikation eller kompetens. Det krävs därför en helhetssyn i våra undermarksprojekt för att kunna genomföra ändamålsenliga bedömningar och kalkyler av kostnad och tid.

Detta område behöver studeras vidare för att branschen ska klara av att hantera våra framtida undermarksprojekt med stora krav på kostnadseffektivitet, miljökrav och teknisk komplexitet. Det bör inte enbart studeras av tekniker utan insatser behövs med kompetens från olika områden, till exempel organisationslära, byggproduktionsteknik, bergteknik, bergmekanik och miljökunskap.

Ett annat viktigt område är de verktyg vi förfogar över för att genomföra kostnads- och tidskalkyl. Forskning om sådana föreslås bli en fortsättning på föreliggande studie. En djupare analys av befintliga metoders lämplighet för kalkylering föreslås med användning av några metoder presenterade i Kapitel 6, nämligen:

- Successiva metoden
- MonteCarlo simulering
- β -metoden
- Point Estimate Metoden (PEM).

Inledningsvis behöver en analys av teorin för respektive metod göras med särskild tanke på tillämpbarheten i samband med undermarksbyggande. Baserat på detta kan metoderna jämföras och bedömas avseende kalkylering inom undermarksbyggande.

En andra, mycket väsentlig del vid kalkylering är behandlingen av indata. Hur vi bestämmer indata och vilka kopplingar som finns mellan olika indata är två viktiga frågeställningar som bör utredas vidare.

För att någon eller några av de befintliga metoderna ska kunna appliceras på undermarksprojekt kan viss anpassning vara nödvändig. Inte minst kan det vara fråga om att öka användarvänligheten för undermarksprojekt.

8 REFERENSER

- AMA-nytt, 1993: "Försäkringsbranschens Allriskförsäkring AB 92:1, Ansvarsförsäkring AB 92:1". Svensk Byggtjänst, AMA-nytt Mark Hus 1/93, Stockholm.
- Ang, A. H-S., Tang, W. H., 1984: "Probability concepts in engineering planning and design, Volume II - Decision, Risk and Reliability". John Wiley & Sons, New York.
- Ausmann, H., 1996: Personlig kommunikation. NCC AB.
- Avén, S. (ed.), 1981a: "Handboken Bygg. Byggnadsplanering". LiberFörlag, Stockholm.
- Avén, S. (ed.), 1981b: "Handboken Bygg. Ekonomi och Förvaltning". LiberFörlag, Stockholm.
- Avén, S. (ed.), 1984: "Handboken Bygg. Geoteknik". LiberFörlag, Stockholm.
- Averstad, K.-Å., 1995: Personlig kommunikation. Banverket Region Stockholm
- Benjamin, R. J., Cornell, A. C., 1970: Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers". McGraw-Hill, New York.
- Blockley, D., I., 1994: "Uncertain ground: On risk and reliability in geotechnical engineering". Ground Engineering Volume 27, No 2, March 1994, pp28-34.
- Brink, R., 1980: "Skador i byggskedet". Statens råd för byggforskning, Byggeforskningsrådet, R75:1980, Stockholm.
- Clarín, A., 1996: Personlig kommunikation. Vattenfall *Norrland* AB.
- Einstein, H. H., Baecher, G. B., 1983: "Probabilistic and statistical methods in engineering geology - Specific methods and examples, Part 1: Exploration". Rock Mechanics and Rock Engineering 16, pp. 39-72.
- Einstein., H. H., Markow, M. T., Chew, K., 1977: "Assessing the value of exploration for underground gas storage caverns". Proc. Rockstore, Stockholm.
- Eriksson, H., 1996: Personlig kommunikation. Båkab AB.
- Falk, B., 1995: "Funktionsentreprenader - vägprojekt. Förutsättningar, för- och nackdelar". Väg- och vattenbyggaren nr 4, 1995, Stockholm.
- Fjällström, H., Milton, G., Sundvik, L., 1983: "Kostnadsstyrning av byggprojekt". Byggeforskningsrådet BFR, T23:1983, Stockholm.

Freeze, R. A., James, B., Massmann, J., Smith, L., Sperling, T., 1992: "Hydrogeological decision analysis: 1. A framework". Ground water, Vol. 30, No. 4, pp 574-588.

Grennberg, T., 1995: "Funktionsentreprenader inom bergbyggandet?". Bergsprängningskommittén, Diskussionsmöte BK-95, Bergdahl (ed.), Bergsprängningskommittén, Stockholm.

Hagman, J-E., Skagerberg, C., 1993: "Försäkringsfrågor inom byggsektorn". Svensk Byggtjänst, AMA-nytt Mark Hus 1/93, Stockholm.

Hamilton, G., 1985: "Detta är Risk Management". Studentlitteratur, Lund.

Hammarlund, Y., 1977: "Projektadministration". Studentlitteratur, Lund.

Hammarström, M., Olsson, O., 1996: "Äspö hard rock laboratory, 10 years of research". SKB, Stockholm.

Hanzén, B., Salander, P-O., 1994: "Lagar, avtal och försäkringar vid byggnation". Skandiadagen 1994-05-05.

Helgesson, L., 1996: Personlig kommunikation. Båkab AB.

Honoré, J., Lichtenberg, S., 1978: "Erfaringer med successiv Kalkulation - Resumé af en brugeranalyse". Byggeindustrien 10, pp. 451-457, Danmark.

Isaksson, T., 1996: "Erfarenheter från tunneldrivning i jord och dåligt berg med mixsköld och jetgrouting". SveBeFo Rapport 25, Stockholm.

Jaselskis, E. J., Russel, J. S., 1992: "Risk analysis approach to selection of contractor evaluation method". Journal of Construction Engineering and Management Vol. 118, No. 4, pp. 814-821, ASCE.

Johansson, A., 1993: "Utvärdering av metoder för upphandling av funktionsentreprenader och totalentreprenad med funktionsansvar för vägar". Chalmers Tekniska Högskola, Examensarbete i trafikledsteknik 1993:10, Göteborg.

Johansson, J., Olsson, L., Sturk, R., Tengborg, P., 1995: "Konstruktiv utformning av Ringentunnlarna med hänsyn till drift och underhåll - Användning av beslutsteori". Vägverket, R/YT, Intern rapport, Stockholm.

Kodeda, F., 1992: "Byggherrens val av genomförandeform för byggnadsprojekt". Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation Chalmers Tekniska Högskola, Report 29, Göteborg.

Larsson, B., 1979: "Byggandets riskadministration". Statens råd för byggforskning, Bygghöjningsrådet, R11:1979, Stockholm.

Lichtenberg, S., 1971: "Rapport over successiv kalkulation". Laboratoriet for anlægsteknik, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby.

Lichtenberg, S., 1990: "Projekt planlægning - i en foranderlig verden". Polyteknisk Forlag, Danmark.

Lockyer, K. G., 1964: "An introduction to Critical Path Analysis". Sir Isaac Pitman & Sons Ltd, London.

Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., Fazar, F., 1959: "Application of a technique for research and development program evaluation". Operations research, vol. 7, No 5, September-oktober, sid 646-669.

Muir Wood, A., M., 1994: "Control of uncertainty in geotechnical engineering". Special publication on geotechnical eng

Möller, L., Ögård, L., 1983: "Successiva Metoden". Kompendium.

Olsson, L., 1986: "Tillämpning av β -metoden inom geotekniken - Illustrerad med spontberäkning". Dr. Thesis, Royal Institute of Technology, Dept. of Soil and Rock Mechanics, Stockholm.

Olsson, L., 1996: Personlig kommunikation. Geostatistik Lars Olsson AB.

Olsson, L., Johansson, J., Tengborg, P., 1996: "Vägtunnel under Hvalfjörður, Systemanalys avseende risker under entreprenadens genomförande". Intern rapport på uppdrag av Fossvirki, Stockholm.

Olsson, L., Stille, H., 1980: "Lönar sig en kompletterande grundundersökning? - Beslutsteori tillämpad på ett spontningsobjekt". BFR-rapport R174:1980, Bygghöjningsrådet, Stockholm.

Olsson, L., Sturk, R., 1994a: "Norra Länken, Jordtunnel under Bellevue-parken - Riskanalys 1 Felträd". Vägverket rapport RAP 0037, R/YT, Stockholm.

Olsson, L., Sturk, R., 1994b: "Norra Länken - Norrtullspåfarten, Preliminär Riskanalys". Vägverket rapport RAP 0032, R/YT, Stockholm.

Rausand, M., 1991: "Risikoplanlægning - Veiledning til NS 5814". SINTEF, Tapir, Trondheim.

Rollenhagen, C., 1995: "MTO - en introduktion, Sambandet människa, teknik och organisation". Studentlitteratur, Lund.

Rosenbleuth, E., 1975: "Point Estimates for Probability Moments". Proc. National Academy Sci. USA, Vol. 72, No 10, pp. 3812-3814.

Råsled, B., 1990: "Upphandling av byggnader och anläggningar". Byggförlaget, Stockholm.

Räddningsverket, 1989: "Att skydda och rädda liv, egendom och miljö. Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten". Räddningsverket R16-038/88, Karlstad.

Skandia, 1993: Presentationsmaterial, Skandia, Stockholm.

Starr, M. K., 1964: "Production management, Systems and Synthesis". Prentice-Hall, New Jersey

Stille, H., Stille, G., 1996: "Riktlinjer för kvalitetssäkring i byggprocessen, Inledande studie, Demonstrationsanläggning för inklädda gaslager Etapp 1, Delstudie TS6". Intern rapport på uppdrag av Sydgas AB, Malmö och Skanska Teknik AB, Stockholm.

Strömkvist, S., 1995: "Köper sig fria från tunneln". Sydsvenska Dagbladet, 17 maj 1995, Malmö.

Sturk, R., 1996: "Besluts- och riskanalys samt stokastiskt synsätt inom undermarksbyggandet". SveBeFo Rapport 23, Stockholm.

Sundsvik, L., Höjer, J., Mellander, K., 1983: "Byggprocessen. Belysning av nya samverkansmönster och arbetsformer". Byggforskningsrådet BFR, T20:1983, Stockholm.

Svensson, B., 1996: Personlig kommunikation. Skandia AB.

Sällfors, G., 1990: "Punktskattningsmetoden - En statistisk metod användbar på geotekniska problem". CTH, Geohydrologiska Forskningsgruppen, Meddelande nr 89, Göteborg.

Tengborg, P., Olsson, L., Johansson, J., Brantmark, J., 1997: "Systemanalys för Hvalfjörðurtunneln". Bergsprängningskommittén, Diskussionsmöte BK-97, Stockholm.

Wallis, S., 1993: "Storebælt Review". World Tunnelling, April 1993.

Wallis, S., 1994: "Tunnelling the Channel". World Tunnelling, April 1994.

Westin, T., 1989: "Kostnadskalkylering med LCC-modell - Tillämpning för byggprocessens olika skeden". Byggforskningsrådet BFR, Rapport R27:1989, Stockholm.

Vrijling, J. K., Redeker, F. R., 1993: "The risk involved in major infrastructural projects". Options for tunnelling 1993, Berger (ed.), Elsevier, Oxford.

Vägverket, 1995: "Allmän beskrivning. Tunnel 95". Vägverket Publ 1995:32, Borlänge.

Wätte, S., Cassel, P., 1989: "Att använda kvalitetssystem inom byggsektorn". Sveriges Praktiserande Arkitekter SPA, Stockholm.

Yrkesinspektionen, 1986: "Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse med föreskrifter om bergarbete samt råd om allmänna tillämpningen av föreskrifterna, AFS 86:17". Arbetarskyddsstyrelsen.

Åkesson, P., 1996: Personlig kommunikation Trygg Hansa AB.