

# **ATT BESTÄMMA DEN TOTALA RISKEXPONERINGEN I STÖRRE INFRASTRUKTURPROJEKT – METODUTVECKLING**

**SLUTRAPPORT SBUF-projekt 11800**

Lars Olsson, Geostatistik AB  
Robert Sturk, Skanska-Vinci HB  
Jan Johansson, Naturgasteknik AB  
Tage Hansson, Banverket Projekt Hallandsås

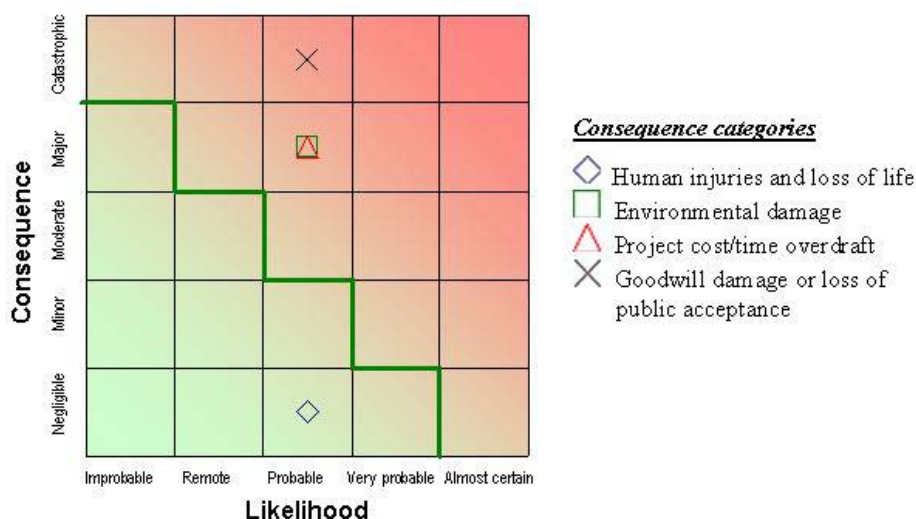
Stockholm/Förslöv, Januari 2007

# Innehållsförteckning

<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>	<b>2</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>3</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>8</b>
1.1 BAKGRUND	8
1.2 PROJEKTETS SYFTE OCH GENOMFÖRANDE	8
1.3 PROBLEMSTÄLLNINGEN	8
1.4 RAPPORTSTRUKTUR	9
<b>2 RISKHANTERING - PRINCIPER OCH PRAKTIK</b>	<b>10</b>
2.1 ALLMÄNT	10
2.2 BESLUTSPROBLEMET	10
<b>3 DEL 1 - RISKMATRISEN OCH KALIBRERING AV AXLARN</b>	<b>12</b>
3.1 RISKMATRISEN	12
3.1.1 <i>Antal celler</i>	14
3.1.2 <i>Gradering av axlarna</i>	14
3.2 RISKMATRISEN SOM BESLUTSHJÄLPMEDEL	16
3.2.1 <i>Beslutsprinciper i matriser</i>	17
3.2.2 <i>Behov av kalibrering</i>	17
3.3 SYNPKUNTER PÅ GRADERING AV RISKMATRISEN	17
3.3.1 <i>Likelihood</i>	17
3.3.1.1 <i>Upprepade risker</i>	19
3.3.1.2 <i>Sammansatta risker</i>	20
3.3.2 <i>Konsekvenser</i>	20
3.3.2.1 <i>Konsekvenskategorier</i>	20
3.3.2.2 <i>Konsekvensklasser</i>	22
3.4 AHP SOM HJÄLPMEDEL VID KALIBRERING AV AXLARN	23
3.4.1 <i>Projekt Hallandsås</i>	23
3.4.2 <i>Projekt Citybanan</i>	25
<b>4 DEL 2 - BERÄKNING AV TOTAL RISKEXPONERING</b>	<b>29</b>
4.1 TOTAL RISKEXPONERING	29
4.1.1 <i>Behov av redovisning och sätt att redovisa</i>	29
4.1.2 <i>Direkt summering</i>	31
4.1.3 <i>Relativa vikter mellan olika kategorier.</i>	32
4.2 TILLÅTEN RISKEXPONERING	34
4.2.1 <i>"Riskbudget"</i>	34
4.2.2 <i>Utfall av risker</i>	35
<b>5 RESULTAT, ANVÄNDBARHET OCH FRAMÅTBlickAR</b>	<b>39</b>
5.1 SAMMANFATTNING AV RESULTATET	39
5.2 METODIKENS ANVÄNDBARHET OCH BEHOV AV YTTERLIGARE ARBETE	39
<b>6 REFERENSER</b>	<b>41</b>
<b>7 BILAGOR</b>	<b>42</b>

## Sammanfattning

Utvecklingen går mot att en aktiv och strukturerad riskhantering blir allt vanligare inom anläggningsbranschen. Ofta upprättas en riskdatabas eller riskregister där varje risk bokförs separat. För varje risk registreras beskrivning, värdering och beslut om acceptans eller åtgärder. Sättet att beskriva och analysera risker sker i stort sett enligt en vedertagen nomenklatur och metodik. Värderingen kan presenteras i form av en riskmatris, där olika konsekvenskategorier betraktas, se Figur A.



Figur A. Riskmatris med konsekvenskategorier. Grönt område indikerar acceptabla risker medan rött indikerar oacceptabel risk och behov av åtgärd. (Den tjocka gröna linjen ger en vägledning om acceptansgränsen, men är inte tvingande.) (Källa: Projekt Hallandsås)

Erfarenheterna från Projekt Hallandsås visar dock på vissa svagheter i detta system. Den främsta är att systemet inte ger en bild av den totala riskexponeringen, eftersom varje risk behandlas separat. En sådan bild av riskexponeringen är värdefull för projektledningen (och har efterfrågats i Projekt Hallandsås).

Man behöver således ett sätt att redovisa hur stor den totala riskexponeringen är i ett projekt. Redovisningen skall vara sådan att den kan vara ett beslutsstöd när beslut skall fattas om den fortsatta riskhanteringen i projektet. Härvid skall hänsyn tas till att:

- Riskexponeringen är sammansatt av risker med olika konsekvenstyper
- Riskexponeringen har en variation med tiden
  - Riskhanteringsprocessens fortskridande
  - Utfall av risker

Ofta beskrivs konsekvensen inom olika kategorier. Det betyder att man inte har ett gemensamt måttetal för de olika riskerna och man kan därför inte direkt addera dem. Det saknas en översättningsfaktor mellan olika konsekvenskategorier. De huvudsakliga skadekategorierna som brukar användas i samband med infrastrukturprojekt är:

- Skador på människor.
- Miljöskador.
- Fördyring av projektet (kostnadsökning).

- Försening av projektet.
- Förlust av förtroende. Goodwillförlust.

Utan att man kalibrerar matrisens axlar blir det problematiskt med att fatta beslut om riskhantering som baserar sig på förväntade förluster, dvs. på produkten av likelihood och konsekvens. Det krävs att för varje konsekvenskategori konsekvensklasserna är kalibrerade mot varandra. Denna kalibrering skall göras på ett så objektivt sätt som möjligt. I projektet har valts att använda en metod som kallas Analytic Hierarchy Process, AHP och tillämpa den på två praktikfall, Projekt Hallandsås och Projekt Citybanan. Försöket genomfördes i två etapper. Första etappen utfördes vid Projekt Hallandsås och baserat på erfarenheter därifrån upprepades försöket med en något ändrad metodik vid Projekt Citybanan i Stockholm.

Tillämpningen visade att det är möjligt att erhålla kvoter/viktfaktorer mellan konsekvenskategorier, därmed möjliggörs en normalisering av olika konsekvenser och beräkningar av total riskexponering. Den totala riskexponeringen kan beräknas som summaeffekten av de olika risker, som har accepterats och som ofta finns lagrade i en riskdatabas eller ett riskregister. Beräkning av denna summa, total riskexponering, kan principiellt göras genom att man beräknar summan av det förväntade värdet av skadorna:

$$\text{Total riskexponering} = \sum_{i=1}^{i=n} P(\text{Risk}_i) \cdot \text{Konsekvens}(\text{Risk}_i)$$

Med hjälp av framtagna viktfaktorer beräknar man en ekvivalent konsekvens som är summan av de olika konsekvenskategorierna där konsekvensklassen multiplicerats med korrekt faktor. Om denna ekvivalenta konsekvens multipliceras med tillhörande sannolikhet får man riskens bidrag till den totala riskexponeringen. Genom att upprepa dessa beräkningar för alla aktiva risker och summera alla bidragen får man den totala riskexponeringen, som då är ett enda tal. Dessa beräkningar av total risk kan sedan upprepas när åtgärder vidtagits, efter ytterligare riskanalyser etc. Man får härigenom en beskrivning av hur riskexponeringen varierar med tiden.

Vid den praktiska tillämpningen av AHP som metodik för kalibrering av axlar och beräkning av omräkningsfaktorer har vi funnit att det krävs en mycket noggrann och tydlig genomgång av metodiken. Eljest kommer man att få avsevärda problem med missuppfattningar och själv motsägelser. Vi rekommenderar därför att metoden används, men att den parvisa jämförelsen som ger viktfaktorerna inte görs enskilt utan i grupp och att konsensus eftersträvas. Vid arbete i grupp får man följande fördelar:

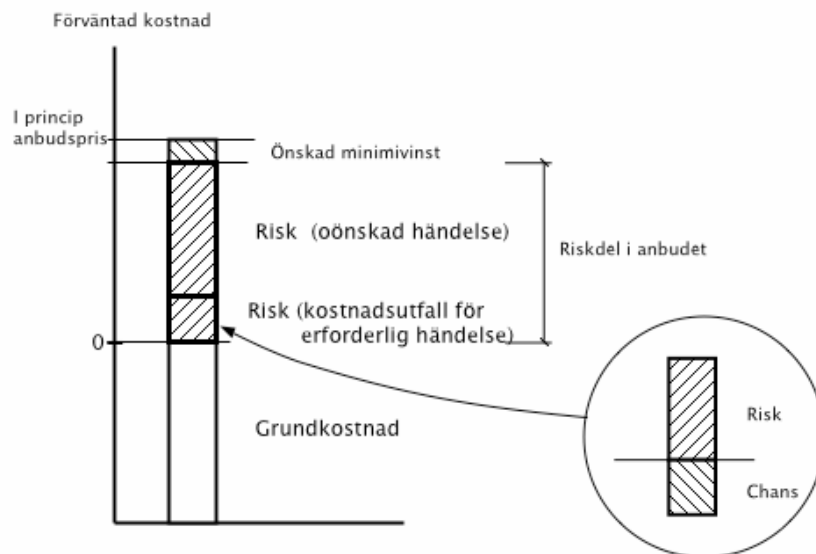
- Bättre inblick i problemställningen.
- Tillfälle att i grupp diskutera de möjliga konsekvenserna.
- Den önskade jämförelsen mellan olika konsekvenser.

Den tillåtna riskexponeringen i ett projekt kan bestämmas av en ”riskbudget”. Vid skattningen av kostnaden för ett projekt utgår man vanligen från en bedömd grundkostnad. Grundkostnaden är i princip medelvärdet av kostnaderna för all i entreprenaden ingående arbeten. Risker i en entreprenad kan vara av två grundtyper:

- Risker som beror på osäkerheter kring en ”händelse” som ingår i entreprenaden, t.ex. att kostnad för betong blir högre än den som antagits i grundkostnaden, att grundläggning blir billigare etc. Osäkerheterna i grundkostnaden kan således vara både ”risker” och ”chanser”.

- Risker som beror på att oönskade händelser inträffar, t.ex. ett större ras, som leder till kostnader helt utanför själva grundkostnaden.

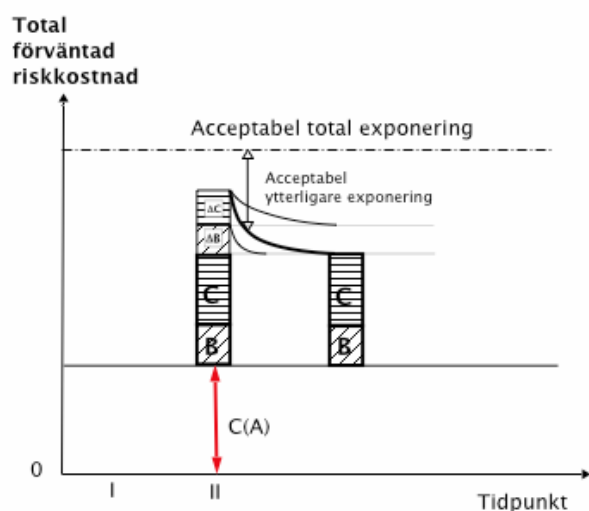
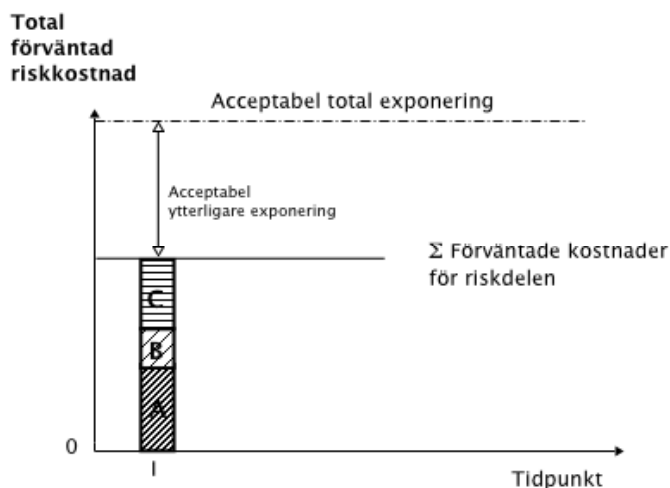
Om man utgår från medelvärdet av kostnaden för ett moment som ingår i entreprenaden kommer sannolikheten att den verkliga kostnaden blir lägre (chans) eller högre (risk) att bero på hur kostnadens sannolikhetsfördelning ser ut. Dessa risker (och chanser) innebär att det kan finnas en förväntad förlust (sannolikhet • kostnad) som rimligen skall täckas av riskbudgeten (om chanserna överväger kan man minska riskbudgeten). Man får då att anbudet principiellt bör vara sammansatt som i Figur B.



Figur B. Anbudets principiella sammansättning.

Om en risk faller ut påverkar det den återstående delen av riskbudgeten med ett större belopp än den förväntade förlusten för just den risken. Antag att risken har en sannolikhet att falla ut av 1/10 000 och att kostnaden om den faller ut är 500 000 kr. Dess förväntade förlust är då 50 kr och det är riskens del i den totala riskbudgeten. Men när risken faller ut tar den 500 000 verkliga kronor i anspråk ur riskbudgeten. Vid utfallet ökar alltså beloppet med faktorn 1/p. Men ett utfall av en risk påverkar också de kvarvarande riskerna i projektet och eventuellt även inom andra projekt, se Figur C.

För enkelhetens skull illustreras endast de förväntade kostnaderna för tre risker, A, B och C, och endast riskkostnaden (alltså inte kostnad för säkra händelser). Antag att vid tidpunkten I så faller risken A ut. Vi får då den situation som visas i Figur C, nedre diagrammet. Förutom själva konsekvensen av A, d.v.s.  $C(A)$  får de övriga riskerna ett tillägg  $\Delta B$  respektive  $\Delta C$ . Dessa tillägg inverkar på den resterande (efter utfallet) acceptabla totala exponeringen och påverkar därför ställningstaganden om kvarstående risker. Tilläggen till den förväntade riskkostnaden kan orsakas både av en ökning av konsekvenserna om en risk faller ut och en bedömd ökning av sannolikheten att den faller ut. Tilläggen är också beroende av tiden från utfallet och klingar med tiden av.



Figur C. Inverkan av utfall av en risk (princip). Den övre bilden visar ursprunglig riskexponering medan den nedre visar riskexponering efter att risken A fallit ut.

En reversibel miljöskada kommer exempelvis att vara allvarligast, både faktiskt och hur händelsen mottas av externa intressenter, i det ögonblick den inträffar och därefter avklinga för att till sist inte påverka projektet negativt. Då risken är som allvarligast kan den ha stor påverkan på projektet även om den inte har en stor miljömässig eller ekonomisk relevans. Man kan således sammanfattningsvis konstatera att man är känsligare för ytterligare riskutfall under tidsperioden närmast efter att en eller flera risker redan fallit ut.

Hur risker avklingar med tiden är inte känt. Det finns dock skäl att anta att den avklingar exponentiellt med tiden (detta gäller dock inte ”faktiska” ändringar av sannolikheter, en sådan ökning avklingar inte förrän åtgärder vidtagits). Ett fortsatt utvecklingsarbete inom detta område rekommenderas.

Föreliggande utvecklingsprojekt har identifierat och beskrivit en tänkbar metodik att ta fram riskmatriser där man på ett korrekt och användningsfritt sätt kan hantera problemet med den totala riskexponeringen i ett projekt. Användningen av AHP metoden som ett operativt verktyg i projekt, framförallt för att ta fram viktfactorer för olika konsekvenser, har verifierats

och förfinats. Vidare presenteras en fenomenologisk princip att beskriva riskutfall och dess koppling till tid och riskbudget. Förstudien visar följande specifika slutsatser:

- Att det finns behov av att använda riskmatriser som är kalibrerade.
- Att denna kalibrering kan göras med den så kallade AHP-metoden.
- Att det går att beräkna omräkningsfaktorer så att man kan beräkna den totala riskexponeringen.
- Att risker som fallit ut påverkar riskbudgeten.
- Att risker som fallit ut påverkar (ökar) kvarvarande risker.

Följande områden har identifierats men inte behandlats inom ramen för förstudien och behöver studeras ytterligare:

- Upprepade risker. Beräkningshjälpmedel och metodblad behöver tas fram för risker där en händelse (ett arbetsmoment) upprepas ett antal gånger eller där en fara är beroende av under hur lång tid eller på hur lång sträcka ett arbete förekommer.
- Riskbudget. Principer för hur man skall bedöma hur stor riskbudgeten bör vara. Detta gäller även risker som gäller miljöskador och förlust av goodwill. Här ingår också en bedömning av hur stor del av den förväntade förlusten som skall ingå i riskbudgeten.
- Mänskligt lidande. Hanteringen av mänskligt lidande och död bör behandlas separat från övriga risker. Den metodik som används vid FMV bör studeras och anpassas.
- Riskökning och avklingande. Grunderna för hur man skall beräkna riskökning orsakad av utfallande risker bör studeras liksom även ökningens avklingande med tiden.
- Lärobok. Det behöver utarbetas en praktisk lärobok på svenska om hur man arbetar med riskhantering med hjälp av riskmatriser, hur man kalibrerar dessa och hur man beräknar total riskexponering.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Man har alltid varit medveten om att entreprenader medför ett risktagande och på olika sätt försökt hantera riskerna. Utvecklingen går mot att en aktiv och strukturerad riskhantering blir allt vanligare inom anläggningsbranschen. Ett exempel är Projekt Hallandsås, där man har implementerat en systematisk riskhantering och upprättat en riskdatabas där varje risk bokförs separat. För varje risk registreras beskrivning, värdering och beslut om acceptans eller åtgärder. Liknande riskdatabaser eller riskregister förekommer idag, på ett eller annat sätt, i nästan alla större projekt.

Sättet att beskriva och analysera risker sker i stort sett enligt en vedertagen nomenklatur och metodik, se exempelvis Stephans (2004), som också i stora drag ansluter till internationella standarder, t.ex. den amerikanska MIL-STD-882 D (2000).

Erfarenheterna från Projekt Hallandsås visar dock på vissa svagheter i detta system. Den främsta är att systemet inte ger en bild av den totala riskexponeringen, eftersom varje risk behandlas separat. En sådan bild av riskexponeringen är värdefull för projektledningen (och har efterfrågats i Projekt Hallandsås).

## 1.2 Projektets syfte och genomförande

*”Projektet är en förstudie som syftar till att undersöka en tänkbar metodik att ta fram riskmatriser där man på ett korrekt och invändningsfritt sätt kan hantera problemet med den totala riskexponeringen i ett projekt. Detta skall kunna göras både när den totala risken är sammansatt av olika typer av konsekvenser (personskador miljöskador, ekonomisk förlust etc.) och när man har risker som är upprepade.”* (Ur anslagsansökan)

Det är av betydelse att betona att projektet är en förstudie för att hitta en metodik, inte en färdig detaljlösning som direkt kan användas.

Projektet har utförts under 2006 av en arbetsgrupp bestående av Lars Olsson (Geostatistik AB), Jan Johansson (Naturgasteknik AB), Tage Hansson (Banverket Projekt Hallandsås) och Robert Sturk (Skanska-Vinci HB). Slutrapporten har granskats av Ulf Håkansson (Skanska Sverige AB), Per Brusik (Skanska-Vinci HB) och Christer Möller (Banverket Projekt Hallandsås). Projektet har finansierats av SBUF (huvudfinansiär), Banverket och Skanska-Vinci HB.

## 1.3 Problemställningen

Man behöver ett sätt att redovisa hur stor den totala riskexponeringen är i ett projekt. Redovisningen skall vara sådan att den kan vara ett beslutsstöd när beslut skall fattas om den fortsatta riskhanteringen i projektet. Härvid skall hänsyn tas till att:

- Riskexponeringen är sammansatt av risker med olika konsekvenstyper (exempelvis personskada, miljöskada, kostnad/ tidsförlust, förlust av goodwill)
- Riskexponeringen har en variation med tiden
  - Riskhanteringsprocessens fortskridande
  - Utfall av risker



## **1.4 Rapportstruktur**

Rapporten är uppbyggd kring de problemställningar som beskrivits ovan. I Kapitel 3 behandlas riskmatrisen och hur de två parametrarna sannolikhet och konsekvens beskrivs, hanteras och kalibreras. Därefter sker en genomgång av olika sätt att beräkna total risk utifrån en grupp identifierade risker, exempelvis från ett riskregister eller en riskdatabas (Kapitel 4). Slutsatser och rekommendationer sammanfattas i Kapitel 5. Först ges dock en introduktion i grundläggande principer med riskhantering, Kapitel 2.

Förutom föreliggande rapport har projektinnehållet och resultat redovisats i två artiklar, en på svenska i V-byggaren Nr 4/2006 samt en på engelska till en internationell konferens om risk (ICASP 10) i Tokyo 2007. Dessa artiklar bifogas som bilagor till denna rapport.

## 2 Riskhantering - principer och praktik

### 2.1 Allmänt

Avsikten med riskhantering är att man skall hantera och kontrollera risker i projektet genom att fatta beslut om acceptans respektive åtgärd för alla identifierade risker.

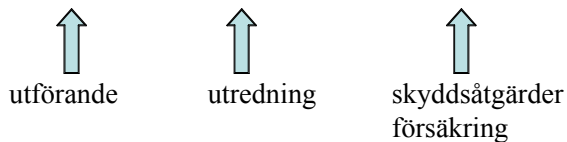
De möjliga besluten kan vara;

- att acceptera risken utan åtgärder,
- att analysera risken ytterligare, eller att
- vidta åtgärder (så att risken tas ner till en nivå som kan accepteras).

Enligt Kaplan (1997) bör man beskriva en risk med tripletten {scenario; sannolikhet; konsekvens}. Åtgärder som kan vidtas kan vara inriktade på en eller flera av riskens komponenter, se Figur 1. Ändring av scenariot (beskrivningen av risken) innebär ofta att risken försvinner helt eller övergår i en ny risk.

**Risk = {scenario; sannolikhet; konsekvens}**

(Kaplan)



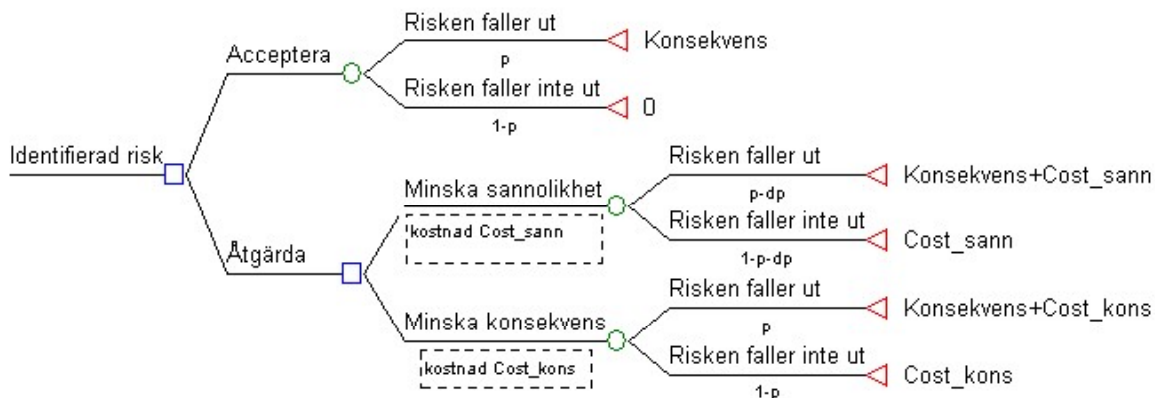
Figur 1. Exempel på möjliga riskminskande åtgärder och hur de påverkar riskens komponenter.

Beslut kan endast fattas för varje enskild risk och då skall man beakta både hur troligt det är att risken faller ut och vilka konsekvenserna kan bli utifrån olika perspektiv.

### 2.2 Beslutsproblemet

Vid riskanalysen är det normalt så att den som gör riskanalysen lämnar förslag hur den analyserade risken skall hanteras.

De möjliga alternativen: acceptera; utred ytterligare; åtgärda utan ytterligare analys, skall då i princip hanteras med en beslutsanalys där kostnaderna för de olika alternativen vägs mot varandra, se Figur 2.



Figur 2. Beslutsträd för beslut om riskhantering vid givet scenario.

Det finns olika kriterier för vilket beslut som är ”bäst”. I fortsättningen kommer vi att använda det kriterium som brukar kallas Bayes-kriteriet, dvs. ”**Minimera förväntad förlust**”.

Om detta används på beslutsträdet i Figur 2 kommer det beslutsteoretiskt korrekta beslutet att fås ur en jämförelse mellan de förväntade kostnaderna för olika alternativa vägar i trädet:

Acceptera:	$p \cdot \text{Konsekvens} + (1-p) \cdot 0$
Åtgärda (sannolikhet)	$(p-dp) \cdot (\text{Konsekvens} + \text{Cost\_sann}) + (1-p-dp) \cdot (\text{Cost\_sann})$
Åtgärda (konsekvens)	$p \cdot (\text{Konsekvens} + \text{Cost\_kons}) + (1-p) \cdot \text{Cost\_kons}$

Korrekt beslut är att välja den gren som har lägst förväntad kostnad. Kortfattat kan detta sägas enligt följande: ”Om den förväntade skadan av en risk är större än summan av kostnaden för åtgärden och den efter åtgärden resterande förväntade kostnaden skall åtgärden vidtas”.

Den förväntade förlusten är sannolikheten för skadan • kostnaden för skadan, men det skall observeras att både sannolikheten och kostnaden skall återspegla beslutsfattarens subjektiva uppfattningar. Man skall alltså i princip arbeta med subjektiva sannolikheter och med så kallade ”utilities” som återspeglar beslutsfattarens preferenser.

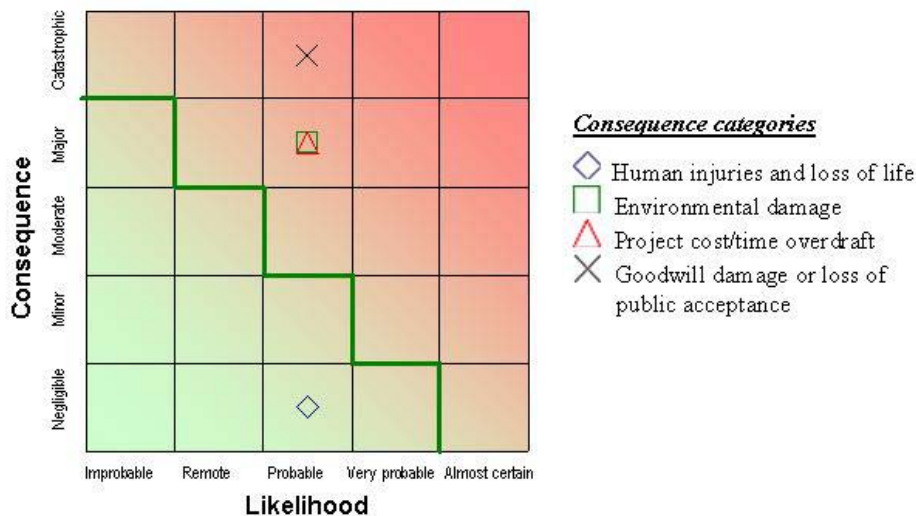
Den valda beslutsprincipen ger ett teoretiskt problem i det att rekommendationerna om vilket beslut som skall fattas ges av riskanalytikern och inte direkt av beslutsfattaren, som vanligtvis är den som ”äger” risken. Detta problem är troligen inte så stort när det gäller sannolikheterna som när det gäller ”värdet” av olika konsekvenser.

### 3 Del 1 - Riskmatrisen och kalibrering av axlarna

#### 3.1 Riskmatrisen

Riskmatrisen är ett grafiskt sätt att redovisa två av riskens tre komponenter, nämligen sannolikheten och konsekvensen. Eftersom man ofta använder riskmatrisen för att redovisa resultatet av en första skattning redovisar man ofta riskkomponenterna grupperade i klasser och man anger endast vilken klass som sannolikheten respektive konsekvensen hör till. (För att understryka detta talar man då ofta om trolighet (likelihood) i stället för sannolikhet).

Som exempel på en riskmatris visas i Figur 3 den matris som används i Projekt Hallandsås.



Källa: Projekt Hallandsås

Figur 3. Exempel på riskmatris

I en riskmatris visar man likelihood- och konsekvensklassen för en risk. I Figur 1 anges dessa för en risk där konsekvensen är uppdelad i olika kategorier. Denna uppdelning görs för att underlätta beskrivningen av risken och för att undvika problem med att direkt jämföra t.ex. människoliv med förlust av pengar. Detta behandlas mer längre fram.

Riskmatrisen i Figur 3 har axlarna graderade i klasser enligt Tabell 1.

Tabell 1. Konsekvensklasser Projekt Hallandsås.

Consequence	Likelihood
Negligible	Improbable
Minor	Remote
Moderate	Probable
Major	Very probable
Catastrophic	Almost certain

Till dessa klasser hör beskrivningar av vilket spann som täcks av respektive klass. Så används för likelihood vid Projekt Hallandsås gränser enligt Tabell 2.

Tabell 2. Likelihoodgränser Projekt Hallandsås.

Likelihood	Sannolikhet p
Improbable	$< 10^{-6}$
Remote	$10^{-6} < p < 10^{-3}$
Probable	$10^{-3} < p < 10^{-1}$
Very probable	$10^{-1} < p < 5 \cdot 10^{-1}$
Almost certain	$> 5 \cdot 10^{-1}$

För de olika konsekvenskategorierna finns en beskrivning för varje kategori. För exempelvis kategorin Miljöskada används beskrivningarna i Tabell 3 och för kategorin Överskridande av kostnad eller tid används beskrivningar enligt Tabell 4.

Tabell 3. Beskrivning av konsekvensklasser för miljöskada

*Damage category: ENVIRONMENTAL DAMAGE*

CONSEQUENCE CLASS	DESCRIPTION OF CONSEQUENCES
<b>Negligible</b>	Minimal environmental damage not violating law or regulation
<b>Minor</b>	Mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished
<b>Moderate</b>	Reversible short term environmental damage causing a violation of law or regulation
<b>Major</b>	Reversible long term environmental damage causing a violation of law or regulation
<b>Catastrophic</b>	Irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.

Tabell 4. Beskrivning av konsekvensklasser för överdrag av kostnad/tid.

*Damage category: PROJECT COST/TIME OVERDRAFT*

CONSEQUENCE CLASS	DESCRIPTION OF CONSEQUENCES
<b>Negligible</b>	Delay less than 1 day or cost < 0,5 MSEK.
<b>Minor</b>	Delay less than 1 week or cost 0,5 - 2 MSEK.
<b>Moderate</b>	Delay 1 week – 1 month or cost 2 - 10 MSEK.
<b>Major</b>	Delay 1 month – 6 months or cost 10 - 100 MSEK.
<b>Catastrophic</b>	Delay more than 6 months or cost >100 MSEK.

Det finns inga fixa regler för hur en riskmatris skall vara uppbyggd. Det finns variationer i antalet celler och i cellernas graderingar. I modernare litteratur och standards kan man dock hitta en del riktlinjer, se t.ex. Clemens m.fl. (2005).

### 3.1.1 Antal celler

Ett vanligt antal celler längs likelihood-axeln är 5, medan man ser både 4 och 5 celler längs konsekvensaxeln. Att ha för få celler gör att redovisningen av en risk blir grov och att man får svårt att hantera det vida spann som kan krävas om man vill redovisa den totala risken för ett projekt i en matris. Att ha för många celler gör arbetet onödigt svårt när det gäller att särskilja olika konsekvenser och olika likelihoods. Det ger dessutom en falsk bild av precisionen i riskbeskrivningen.

En synpunkt som ibland framförs är att man skall ha ett jämnt antal celler i vardera riktningen, eftersom detta skall motverka att man undermedvetet väljer den mittersta cellen. Mot att detta skulle vara väsentligt talar att de flesta standarder har ett ojämnt antal celler längs åtminstone ena axeln. Dessutom bör väl förutsättas att den som åsätter värden har en sådan träning att han/hon är medveten om sådana felkällor eller så kallad "bias".

### 3.1.2 Gradering av axlarna

Graderingen av axlarna beslutas vanligen för varje projekt, även om det finns viss standard, t.ex. den amerikanska MIL-STD-882D.

I Tabell 5 visas förslaget till gradering av sannolikhetsaxeln enligt MIL-STD-882D.

Tabell 5. Förslag till sannolikhetsgränser enl. MIL-STD-882D.

#### Suggested mishap probability levels.

Description*	Level	Specific Individual Item	Fleet or Inventory**
Frequent	A	Likely to occur often in the life of an item, with a probability of occurrence greater than $10^{-1}$ in that life.	Continuously experienced.
Probable	B	Will occur several times in the life of an item, with a probability of occurrence less than $10^{-1}$ but greater than $10^{-2}$ in that life	Will occur frequently.
Occasional	C	Likely to occur some time in the life of an item, with a probability of occurrence less than $10^{-2}$ but greater than $10^{-3}$ in that life.	Will occur several times.
Remote	D	Unlikely but possible to occur in the life of an item, with a probability of occurrence less than $10^{-3}$ but greater than $10^{-6}$ in that life.	Unlikely, but can reasonably be expected to occur.
Improbable	E	So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced, with a probability of occurrence less than $10^{-6}$ in that life.	Unlikely to occur, but possible.

\*Definitions of descriptive words may have to be modified based on quantity of items involved.

\*\*The expected size of the fleet or inventory should be defined prior to accomplishing an assessment of the system.

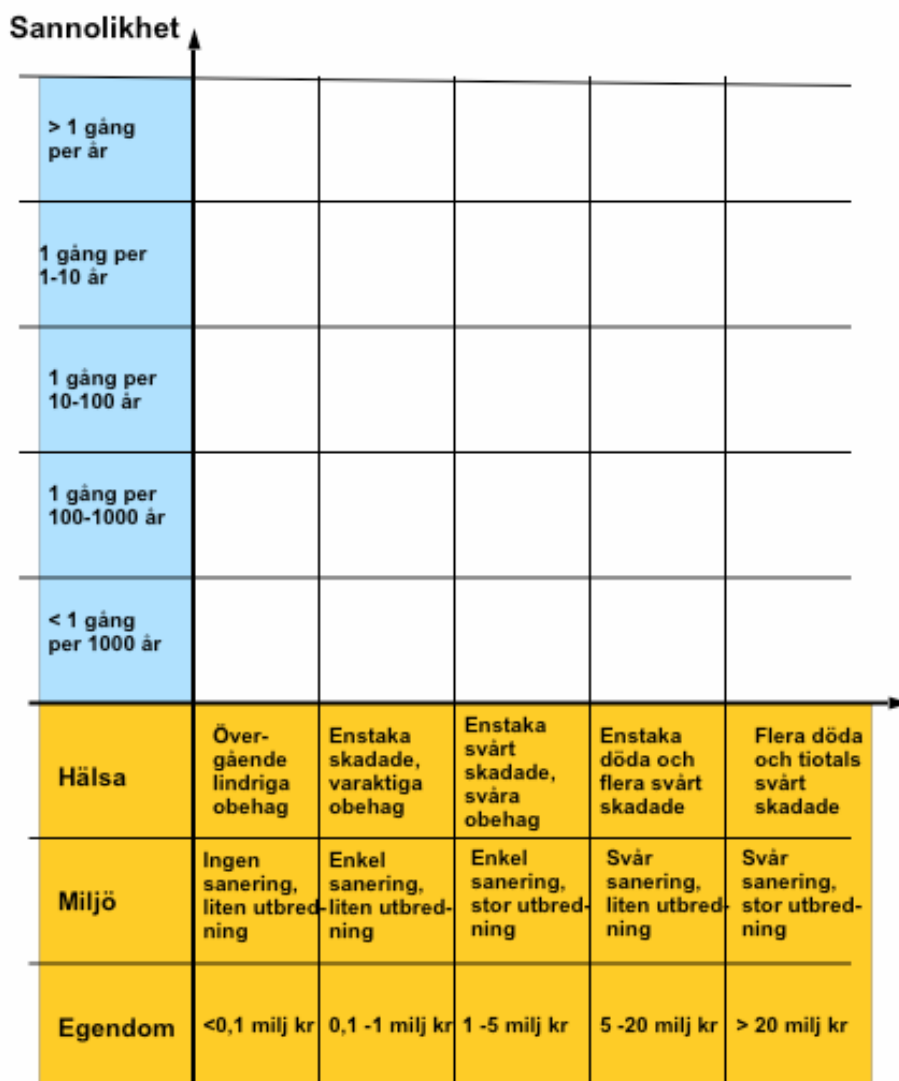
Förslag till gradering av konsekvensaxeln finns också i standarder. Tabell 6 visar förslaget ur MIL-STD-882D.

Tabell 6. Förslag till konsekvensklasser enligt MIL-STD-882D.

**Suggested mishap severity categories.**

Description	Category	Environmental, Safety, and Health Result Criteria
Catastrophic	I	Could result in death, permanent total disability, loss exceeding \$1M, or irreversible severe environmental damage that violates law or regulation.
Critical	II	Could result in permanent partial disability, injuries or occupational illness that may result in hospitalization of at least three personnel, loss exceeding \$200K but less than \$1M, or reversible environmental damage causing a violation of law or regulation.
Marginal	III	Could result in injury or occupational illness resulting in one or more lost work days(s), loss exceeding \$10K but less than \$200K, or mitigatable environmental damage without violation of law or regulation where restoration activities can be accomplished
Negligible	IV	Could result in injury or illness not resulting in a lost work day, loss exceeding \$2K but less than \$10K, or minimal environmental damage not violating law or regulation.

Som ett svenskt exempel visas i Figur 4 den matris som redovisas i Räddningsverkets handbok i riskanalys, Räddningsverket (2003).



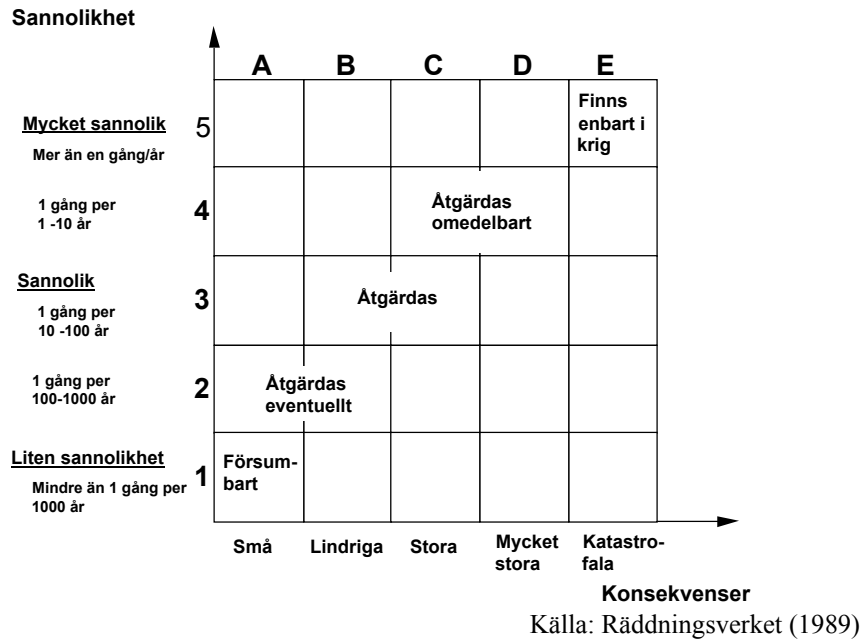
Efter Räddningsverket (2003)

Figur 4. Riskmatris enligt Räddningsverket (2003).

Det bör påpekas att man i de båda matriserna har slagit samman olika konsekvenskategorier och förmodligen inte särredovisar olika kategorier.

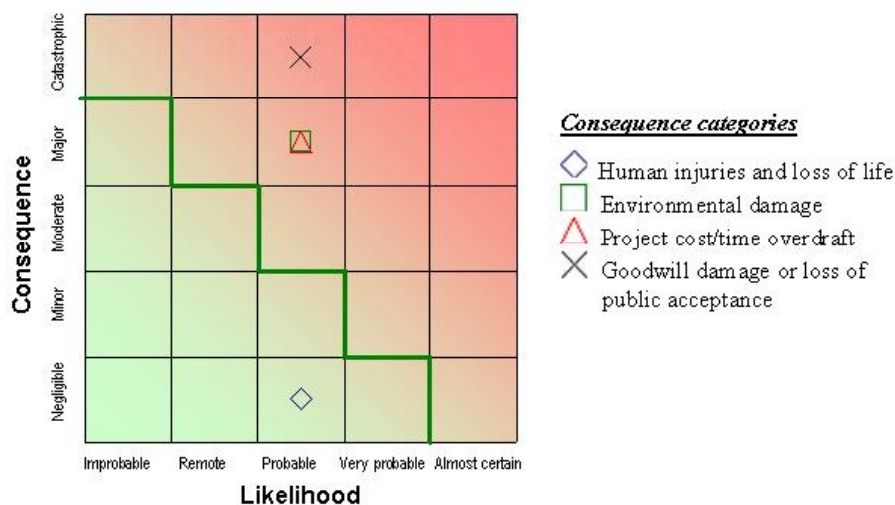
### 3.2 Riskmatrisen som beslutshjälpmedel

Riskmatrisen används inte bara för att grafiskt redovisa risken utan också som ett hjälpmedel för att fatta beslut om risken kan accepteras eller om det krävs åtgärder. Ofta anger man i matrisen områden som direkt ger en rekommendation, se till exempel den matris som föreslås av Räddningsverket (1989), Figur 5.



Figur 5. Matris med angivna rekommendationer för åtgärd.

I den matris som används i Projekt Hallandsås, se Figur 6, finns motsvarande rekommendationer i form av färgade fält och en hjälplinje som skiljer mellan acceptabla risker och risker som kräver ytterligare analys eller direkt åtgärd.



Figur 6. Riskmatris med hjälplinje för beslut (Projekt Hallandsås).



### **3.2.1 Beslutsprinciper i matriser**

I de visade matriserna kan man ur beslutshänsyn skilja på:

- Ett fält i nedre vänstra delen där risken är så liten att den direkt kan accepteras, så kallade ”de minimis-risker”.
- Ett fält i övre högra delen där riskerna uppenbart är otillåtna.
- Ett fält däremellan, där ytterligare överväganden krävs, ofta enligt den så kallade ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable).

Grunden för indelningen är normalt att den skall återspegla förväntad förlust, dvs. konsekvens gånger sannolikhet på ett sådant sätt att gränserna mellan de olika fälten utgör iso-risklinjer det vill säga linjer som har samma förväntade förlust.

Detta gör att man med matrisen som hjälp skall fatta beslut där man har den outtalade principen för matrisens uppbyggnad att en viss cell alltid skall innebära samma åtgärd för en risk som karteras i cellen. Det är då också möjligt att rita en hjälplinje som skiljer celler med olika rekommenderade åtgärdsbeslut.

Här behöver göras påpekandet att man vid dragningen av gränserna inte kan ta hänsyn till kostnaderna för en riskminskande åtgärd. Dessa skall dock beaktas vid beslut om risker i ALARP-fältet.

### **3.2.2 Behov av kalibrering**

I vissa projekt beskrivs konsekvensen inom olika kategorier (tid, kostnad, goodwill, personskador, miljö etc.) Det betyder att man inte har ett gemensamt måttetal för de olika riskerna och man kan därför inte direkt addera dem. Det saknas en översättningsfaktor mellan olika konsekvenskategorier.

Utan att man kalibrerar matrisens axlar blir det problematiskt med att fatta beslut om riskhantering som baserar sig på förväntade förluster, dvs. på produkten av likelihood och konsekvens. Det krävs att för varje konsekvenskategori konsekvensklasserna är kalibrerade mot varandra. Det blir också problematiskt med en hjälplinje i matrisen om inte olika konsekvenskategorier är kalibrerade sinsemellan, så att en viss konsekvensklass har samma ”kostnad” oavsett kategori.

## **3.3 Synpunkter på gradering av riskmatrisen**

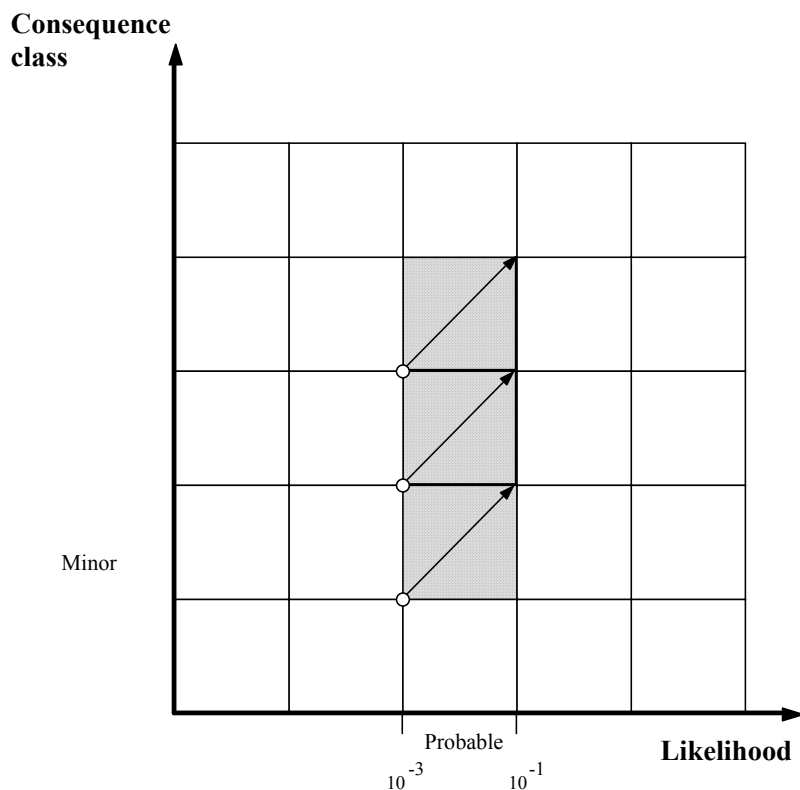
För att riskmatrisen skall vara effektiv och korrekt som verktyg vid beslut om åtgärd krävs det att axlarnas gradering är väl genomtänkt och kalibrerad. Detta gäller både likelihoodaxeln och konsekvensaxeln/axlarna.

### **3.3.1 Likelihood**

Likelihoodaxelns steg bör vara sådana att man kan ange låga sannolikheter, så att det är möjligt att redovisa risken efter att man vidtagit sannolikhetsminskande åtgärder se t.ex. Clemens et al (2005).

Det finns också ett behov att ange höga sannolikheter eftersom en del händelser i sig har en hög sannolikhet eller därför att en risk orsakas en upprepad händelse som för varje enskilt tillfälle har en låg sannolikhet. Denna typ av risker kommer att diskuteras längre fram i rapporten.

Det är också väsentligt att stegen i likelihood är jämna. Det kan annars bli så att en cell i matrisen kan få representera risker med mycket stort spann i förväntad kostnad. Ett exempel från Hallandsås är de celler som har likelihoodklassen "Probable". Som exempel betraktas cellerna med konsekvensklasserna "Minor, Moderate och "Major", se Figur 7.



Figur 7. Illustration av spann i matris.

Om vi väljer konsekvenskategorin "Cost overdrift" (se Tabell 4) finner vi att den förväntade kostnaden för de båda cellerna kan variera (se pilarna i figuren) enligt tabell 7.

Tabell 7. Förväntad kostnad för celler i Figur 7.

Konsekvensklass	Förväntad kostnad	
	Min	Max
Minor	0,5 tkr	200 tkr
Moderate	2 tkr	1 000 tkr
Major	10 tkr	10 000 tkr

Dessa celler kommer alltså att innehålla risker med mycket olika storlek på den förväntade förlusten. Man kan också se att för likelihood "Probable" kan det i klassen Minor finnas risker med så stor förväntad kostnad att de vida överstiger vissa möjliga risker i klassen Moderate. Detta trots att hjälplinjen mellan "Acceptera" och "Åtgärda" går mellan de båda klasserna. Att ha sådana ojämna steg innebär att den som analyserar risken måste göra en icke uttalad uppdelning inom klassen, något som kan leda till felaktiga beslut.

Åsättandet av likelihood görs subjektivt, eftersom det endast är den subjektiva sannolikhetstolkningen som kan användas. Men det finns en del problem, dels när det gäller upprepade risker, dels när det gäller sammansatta risker.

### 3.3.1.1 Upprepade risker

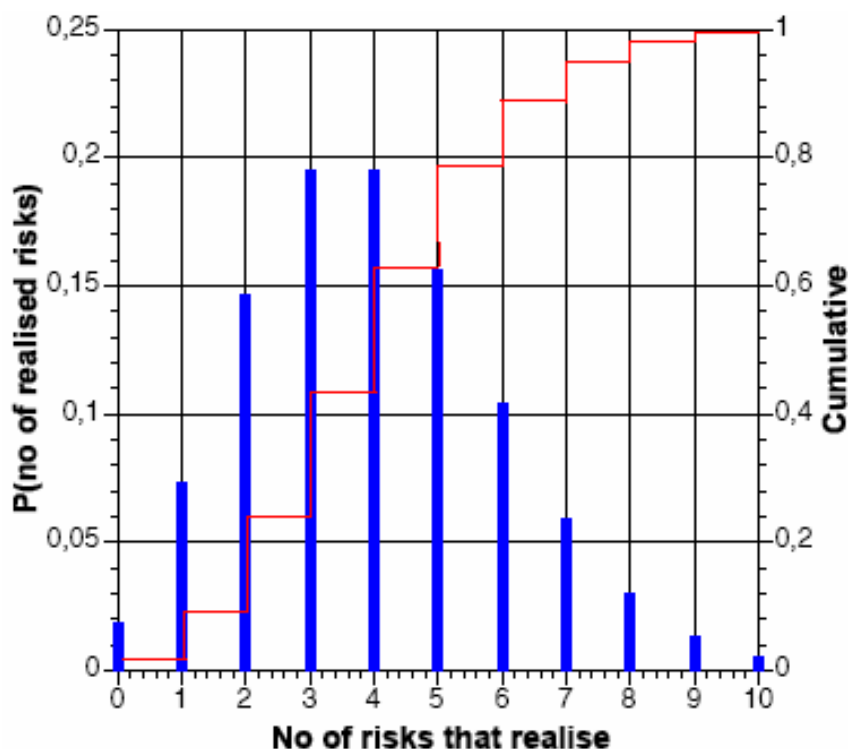
I ett stort anläggningsprojekt förekommer ett stort antal repetitiva arbeten som innehåller faror. Även om sannolikheten att en risk skall realiseras om arbetsmomentet utförs endast en gång ökar sannolikheten att risken någon gång skall falla ut om arbetet upprepas många gånger. Man kan då tänka sig att man säger att det är nästan säkert att risken faller ut någon gång under projektet, dvs. att likelihoodklassen är "Almost certain".

Men är detta korrekt, och vad skall man i så fall sätta för konsekvensklass? Den klass som svarar mot att risken faller ut en gång?

Vi kan illustrera detta med två typfall som utgår från vad vi vet (är villiga att säga) om risken i fråga. Exempel:

Sannolikheten för skada kan anges för varje tillfälle arbetsmomentet upprepas, exempelvis montering av liningelement i en TBM-tunnel. Vi anser att vi har erfarenhetsdata nog att ge en uppskattning av sannolikheten att misslyckas för varje operation. Antag att sannolikheten bedöms vara 1/10 000 att element faller vid monteringen och orsakar skada och antag att 40 000 segment skall monteras. Skall man, när man för in risken i en matris sätta sannolikheten = 1/10000 och konsekvensen 1 element faller, eller skall man sätta in att  $40\,000 \cdot 1/10\,000 = 4$  element faller och i så fall vilken sannolikhet?

Statistiskt sett har vi en binomialfördelning som får det utseende som visas i Figur 8.



Figur 8. Binomialfördelning.

Binomialfördelningen i figuren har parametrarna: sannolikhet att "lyckas" i varje försök = 0,0001 och antalet försök = 40 000. I figuren visas dels sannolikheten att få ett visst antal utfall, dels den kumulativa fördelningen, som visar sannolikheten att få antalet utfall eller

färre. Kurvan kan användas för att bedöma hur risken skall visas i riskmatrisen som konsekvens och likelihood. Vid valet av sannolikhet/konsekvens bör "Maximum Credible Consequence" användas. Det är konsekvenserna av den maximala olycka som bedöms fortfarande kunna inträffa.

Ur kurvan kan utläsas till exempel att det är nästan säkert att vi inte får fler än 10 händelser eller att sannolikheten är c:a 0,9 för högst 6 händelser. Detta resultat kan vara ett bra stöd vid införandet i matrisen, men det måste observeras att det förhållande att ett element faller inte är en konsekvens i sig utan en utlösande händelse. De är ju inte säkert att någon blir skadad. Här kan det vara befogat med ytterligare överväganden på korrekt statistisk grund innan beslut om eventuella åtgärder fattas. Metodiken finns, men den behöver kanske göras mer tillgänglig, exemplifieras och implementeras i beräkningshjälpmedel t.ex. Excel. Detta ligger dock utanför ramen för denna förstudie.

Man kan också notera, att det är möjligt att följa upp det gjorda antagandet om sannolikheten vartefter erfarenhet vinnns. Även här finns metodik, även för fallet där man inte observerat någon händelse, se Bailey (1997).

### **3.3.1.2 Sammansatta risker**

I riskanalysen, både den preliminära och i eventuella detaljanalyser åsätter man ofta sannolikheten för en händelse som egentligen är sammansatt av delhändelser. Detta kan ge både en underskattning av den verkliga sannolikheten och en överskattning beroende på kopplingen mellan de olika delriskerna.

En överskattning kan inträffa om man inte inser att alla händelser i den kedja som bygger upp sannolikheten måste inträffa för att risken ska falla ut. Underskattning av risken kan ske om man inte har tagit hänsyn till alla orsaker som var för sig kan få risken att falla ut. Det är därför av mycket stor vikt att riskbeskrivningen inte görs för summarisk utan beskriver hela det avsedda scenariot.

## **3.3.2 Konsekvenser**

En beskrivning av konsekvenserna omfattar dels en beskrivning av typen av konsekvens, dvs. konsekvenskategorin, dels hur stor konsekvensen är i denna konsekvenskategori.

### **3.3.2.1 Konsekvenskategorier**

De möjliga konsekvenserna av en risk som faller ut (realiseras) kan beskrivas på olika sätt beroende på vad som skadas, men även vem som bär skadan och skadebärarens känslighet för olika skadetyper.

De huvudsakliga skadekategorierna som brukar användas i samband med infrastrukturprojekt är:

- Skador på människor
- Miljöskador
- Fördyring av projektet (kostnadsökning)
- Försening av projektet
- Förlust av förtroende. Goodwillförlust

Man måste dock observera att denna uppdelning måste göras mycket tydlig, eftersom det finns kopplingar mellan kategorierna. Framför allt gäller detta den kostnadsökning som följer med många av de övriga skadekategorierna och synen på hur den resterande skadan skall betraktas.

Ett för diskussionens skull extremt överdrivet fiktivt exempel:

Vid gränsen till etableringsområdet för ett tunnelbygge växer en extremt sällsynt orkidé. Den är så sällsynt att det är det enda svenska beståndet, men den är inte fridlyst. Faran att den skall bli skadad/utplånad genom att den körs över, att material tippas på den eller att levnadsbetingelserna ändras är uppenbar och sannolikheten att den skadas bedöms som mycket stor.

Riskminskande åtgärder kan vidtas genom att man ändrar etableringsområdet så att orkidéns biotop blir mer skyddad men detta innebär en merkostnad. Skall man vidta dessa åtgärder?

Konsekvenser om man skadar orkidén:

Fördyring av projektet	0 kronor
Direkt försening av projektet	ingen alls
Skador på människor	inga
Miljöskador	Arten utrotad men ingen lagöverträdelse
Goodwillförlust	Endast hos biologiskt intresserade

Man kan se på skadorna ur dels entreprenörens, dels beställarens synpunkt. *Entreprenören* har strängt taget bara åtagit sig att för en i kontraktet fastställd ersättning och inom en viss tid färdigställa ett specificerat arbete som givetvis måste göras enligt gällande lagar och förordningar. Utifrån detta synsätt bär entreprenören alltså ingen risk eftersom det inte finns några konsekvenser. Entreprenören kan naturligtvis värdera sitt goda namn rent generellt, men hur det skall ses i den specifika entreprenaden är inte helt klart.

*Beställaren* bär i princip enbart faran för goodwillförlust. Skillnaden mot entreprenören är att det finns en klar långtida koppling mellan beställaren, projektet och uppkomna skador och att eventuell opinion riktas mer mot beställaren som ansvarig för allt som händer i projektet. Man kan därför se att det kan uppkomma en viss kostnad för beställaren som orsakas av framtagande av information om det inträffade, kostnad för möten etc. (Om entreprenören skall delta i dessa möten är det ju egentligen ett tilläggssarbete!) Dessa kostnader torde dock vara små för exempelvis skada.

Man kan alltså säga att risken är så liten att den definitivt skall accepteras om man ser till kostnadsdelen hos skadan.

Ytterligare ett exempel:

En bergarbetare bryter benet när han faller från en hög ställning. Han blir sjukskriven i tre månader.

Konsekvenser av olyckan:	
Fördyring av projektet	Övertidskostnad för andra arbetare tills en ny person skolats in.
Direkt försening av projektet	Ingen alls
Skador på människor	Personligt lidande vid sjukskrivning i tre månader.
Miljöskador	Inga
Goodwillförlust	Ingen, ”vanliga” olycksfall väcker ingen uppmärksamhet

I detta fall torde entreprenören bära hela risken. Den drabbar dock inte entreprenaden särskilt hårt och bör ur den synpunkten accepteras.

Vad vi velat belysa med exemplen är att man kan se att antal möjliga scenarier där ett rationellt beslut, baserat på kostnader, att acceptera risken utan åtgärder kan kännas felaktigt. Detta gäller även om man i kostnaden räknar in den monetära delen av skador i de övriga

skadekategorierna. Särskilt när det gäller skador på människor blir detta förhållningssätt rent stötande (jämför det andra exemplet ovan).

Det finns alltså alla skäl att ta med i riskbedömningen och åtgärdsbeslutet skador i de andra kategorierna. Men man bör för dessa skador separera direkta kostnader och tidsutdräkt från den del av konsekvensen som handlar om aversionen för dessa typer av skador.

Man skulle då få följande konsekvenskategorier:

- Skador på människor
  - Kostnader som drabbar projektet särredovisas. Kategorin avser mänskligt lidande
- Miljöskador
  - Kostnader som drabbar projektet särredovisas. Kategorin avser förlust av positiva miljöförhållanden
- Fördyring av projektet
  - I denna räknas in men särredovisas kostnader för åtgärdande av skador inom övriga konsekvenskategorier
- Direkt försening av projektet
  - Endast om förseningen i sig har några konsekvenser (Jfr nedan)
- Goodwillförlust
  - Kostnader som drabbar projektet särredovisas. Kategorin avser förlusten av förtroende och goodwill

Konsekvenskategorin ”Direkt försening av projektet” är mycket projektspecifik och kanske lämplig att ersätta med kostnadskonsekvenser för respektive part. Exempel:

En mindre delentreprenad, där även en stor försening inte påverkar huvudprojektets färdigställande har stora viten för förseningar. En fördröjning av delentreprenaden innebär alltså en stor risk för entreprenören, men ensamtidigt en chans till kostnadsminskning för beställaren!

I detta sammanhang bör påpekas, att åtgärder som kan vidtas som transfererar risken, t.ex. köp av försäkringar, inte skall beaktas när man uppskattar storleken av konsekvenserna. Givetvis skall redan vidtagna åtgärder som inte avses eller kan ändras tas med i konsekvensbedömningarna. En sådan faktor är sjukförsäkringen, som ju till en del täcker arbetsgivarens utgifter.

### 3.3.2.2 Konsekvensklasser

Liksom för likelihoodklasserna är det viktigt att stegen inom och mellan konsekvensklasserna är jämna. Dessutom bör en konsekvensklass ha samma ”tyngd” oavsett vilken kategori som betraktas. Om inte så kan man inte använda samma hjälplinje i matrisen för alla kategorier utan måste ha fler hjälplinjer.

Man behöver alltså göra en kalibrering av konsekvensklasserna så att man får lämpliga steg inom varje kategori. Denna kalibrering skall göras på ett så objektivt sätt som möjligt. I projektet har valts att använda en metod som kallas Analytic Hierarchy Process, AHP, se t.ex. Saaty (1990) och Bilaga 1.

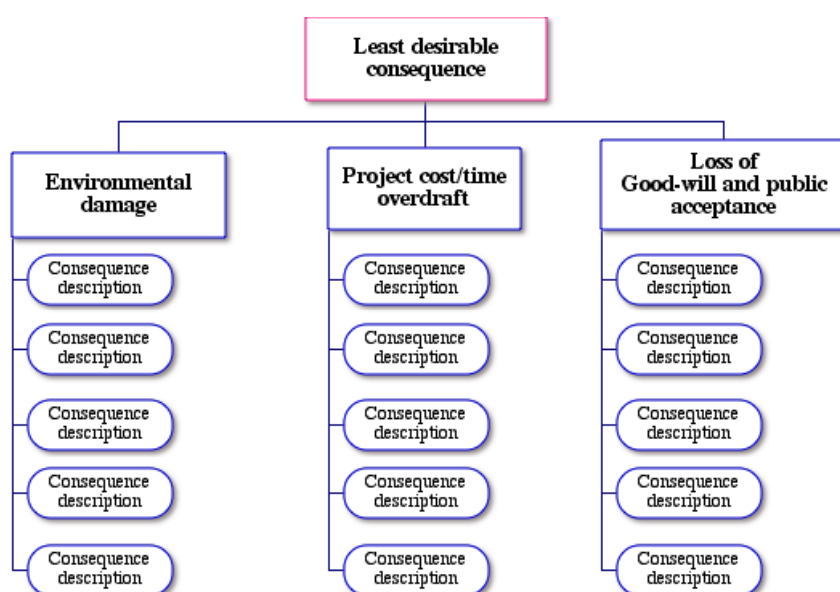
### 3.4 AHP som hjälpmedel vid kalibrering av axlarna

Försöket genomfördes i två etapper. Första etappen utfördes vid Projekt Hallandsås och baserat på erfarenheter därifrån upprepades försöket med en något ändrad metodik vid Projekt Citybanan i Stockholm.

#### 3.4.1 Projekt Hallandsås

Kortfattat kan nämnas att undersökningen genomfördes med 14 personer ur Projekt Hallandsås ledningsgrupper både på Skanska-Vinci och Banverket. Deltagarna samlades och fick en kort genomgång av projektet, problemställningen och om AHP-metoden.

Vid AHP-analysen beskriver man först frågeställningen i en hierarkisk trädstruktur, se Figur 9. Det skall här framhållas att kategorin ”Human injuries” tagits bort ur analysen. Detta kommer att diskuteras ytterligare längre fram.



Figur 9. Hierarkisk trädstruktur. Projekt Hallandsås. (I rutorna med ”consequence description” skall införas den aktuella beskrivningstexten).

Deltagarna fick sedan formulär att fylla i, där de gjorde en parvis jämförelse på olika nivåer. Värderingen utvärderades sedan med speciell programvara, ExpertChoice, och som resultat fick man följande viktffaktorer inom varje konsekvenskategori, se Tabell 8.

Tabell 8. Vikter inom varje konsekvenskategori, Projekt Hallandsås.

Consequence class	Consequence category								
	Environmental damage			Cost/time overdraft			Loss of Goodwill		
	AHP-faktor	CoV	Kvot	AHP-faktor	CoV	Kvot	AHP-faktor	CoV	Kvot
Catastrophic	0.51	12 %	1.99	0.55	9 %	2.00	0.45	29 %	1.72
Major	0.26	22 %	1.74	0.27	16 %	2.90	0.26	56 %	1.46
Moderate	0.15	32 %	2.97	0.09	28 %	1.85	0.18	68 %	2.52
Minor	0.05	34 %	1.24	0.05	18 %	1.42	0.07	33 %	2.01
Negligible	0.04	22 %		0.04	29 %		0.04	50 %	

Som framgår av Tabell 8 verkar inte axlarna i de olika kategorierna vara graderade på ett optimalt sätt. Av den tidigare diskussionen framgick ju att det borde vara en jämn kvot mellan de olika konsekvensstegen. Så är inte fallet, inte ens när det gäller den ”enklaste” kategorin Cost/Time.

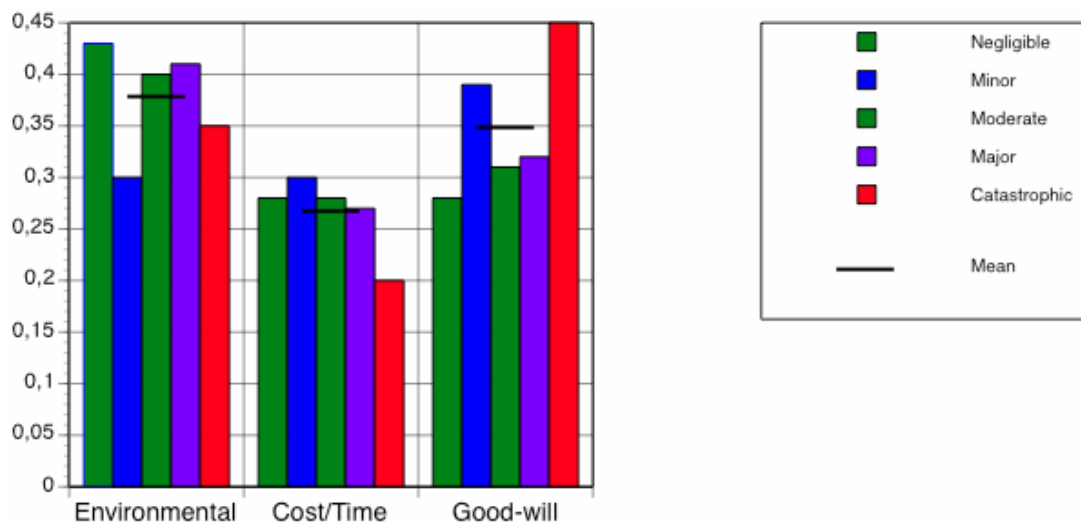
Man kan också notera att spridningen, uttryckt som variationskoefficient (CoV) mellan de olika försökspersonernas svar är minst när det gäller Time/Cost, den kategori som har de klaraste definitionerna. Samtidigt kan man i Tabell 9 se att en ”Objektiv” kvot, beräknad på angivna medelvärden för kostnad och för tid skiljer sig från AHP-kvoten.

Tabell 9. Kvoter för kategorin Cost/Time overdraft, Projekt Hallandsås.

Konsekvensklass	AHP	”Objektiv” Kostnader	”Objektiv” Tidsöverdrag	Beskrivning av konsekvensklassen
Catastrophic	2.00	3.60	3.40	Delay more than 6 months or cost >100 MSEK
Major	2.90	9.20	5.60	Delay 1 month – 6 months or cost 10 - 100 MSEK
Moderate	1.85	4.80	5.00	Delay 1 week – 1 month or cost 2 - 10 MSEK
Minor	1.42	5.00	5.00	Delay less than 1 week or cost 0.5 - 2 MSEK
Negligible				Delay less than 1 day or cost < 0.5 MSEK

En erfarenhet som drogs under försökets gång var att det vid värdering mellan de olika konsekvenskategorierna uppstod en orimligt stor spridning mellan de deltagande personernas bedömningar. Orsaken var troligen personernas egna antaganden om skadans omfattning. Det beslöts då att istället jämföra konsekvenskategorierna vid de olika konsekvensklasserna, alltså för olika intensitet på skadan. Detta gjordes och gav det resultat som visas i Figur 10.





Figur 10. Jämförelse mellan kategorier vid olika konsekvensklasser, Projekt Hallandsås.

Man kan i figuren se en mycket kraftig dominans för miljöhänsyn och goodwill före rent ekonomisk hänsyn. (Den mycket stora övervikten för goodwill i konsekvensklassen "Catastrophic" beror på att den definieras sådan att projektet avslutas av goodwillskäl.)

För slutsatser, ytterligare kommentarer om metodiken och rekommendationer, se Kapitel 5.

### 3.4.2 Projekt Citybanan

En av de slutsatser som drogs vid AHP-analysen vid Projekt Hallandsås var att man i stället för att arbeta enskilt med de parvisa AHP-jämförelserna skulle göra detta i grupp och med direkt utvärdering av resultatet.

Vid den AHP-jämförelse som utfördes vid Projekt Citybanan arbetades det därför i grupp. Eftersom man avsåg att göra en översyn av riskmatriserna vid projektet, bl.a. med hjälp av resultatet från AHP-analysen gjordes en genomgång och justering av de hittills använda beskrivningarna av konsekvenskategorier och konsekvensklasser innan försöket. Eftersom entreprenaden ännu inte startat kom de 13 deltagarna alla från Banverket.

De konsekvenskategorier som används vid Projekt Citybanan skiljer sig något från dem som används i Projekt Hallandsås. De kategorier som användes vid AHP-analysen visas i Tabell 10. Observera att i beskrivningen har en strikt uppdelning av direkta kostnader och skador av etisk/moralisk karaktär införts genomgående. Konsekvenskategorin Samhällspåverkan orsakas av att Citybanan ju skall byggas i centrala Stockholm och kan få stor påverkan på exempelvis trafik. Liksom vid Projekt Hallandsås används fem konsekvensklasser, här kallade: Obetydlig, Liten, Stor, Allvarlig och Katastrofal.

Tabell 10. Konsekvenskategorier använda vid AHP-analys vid Projekt Citybanan.

Konsekvenskategori	Kommentar
Personskada	Innefattar anställda och tredje man. Konsekvensen uttrycks lämpligen i sjukskrivningstid. Projektets direkta kostnader till följd av personskadan skall läggas till kategorin Fördyring.
Miljöpåverkan	Avser faktisk påverkan på ekosystem och den upplevda miljön (buller, vibrationer, ljus, damm, rök etc.). Projektets direkta kostnader till följd av miljöpåverkan skall läggas till kategorin Fördyring.
Samhällspåverkan	Avser påverkan på viktiga samhällets kommunikations- och distributionssystem och/eller skyddsvärda objekt. Projektets direkta kostnader till följd av samhällspåverkan skall läggas till kategorin Fördyring.
Fördyring	Avser ekonomisk inverkan på hela projektet inklusive orsakade skador, varför konsekvensskalan ska vara anpassad till projektets totalkostnad.
Goodwillförlust	Avser förlust av goodwill (förtroende och anseende) som skadar projektet eller dess syfte. Projektets direkta kostnader till följd av goodwillförlust skall läggas till kategorin Fördyring.

Analysen leddes av Lars Olsson och alla jämförelser matades in direkt i datorn (Programmet ExpertChoice) så att utvärderingen kunde ske omedelbart. Analysarbetet genomfördes i följande steg:

1. Presentation av riskhantering och av behovet av en kalibrerad matris.
2. Genomgång och diskussion av konsekvenskategorier, beteckningar på konsekvens- och sannolikhetsklasser och av definitioner på konsekvensklasser
3. Genomgång av AHP-strukturen och AHP-skalan
4. Parvis jämförelse mellan konsekvenskategorier, utan hänsyn till nivå
5. Parvis jämförelse mellan konsekvensklasser inom varje konsekvenskategori
6. Parvis jämförelse mellan konsekvenskategorier, på nivåerna Katastrofal och Allvarlig
7. Utvärdering och diskussion

Vid jämförelsen mellan olika konsekvenskategorier, dels utan hänsyn till konsekvensklass och dels för konsekvensklasserna Allvarlig och Katastrofal blev resultatet som visas i Tabell 11.

Tabell 11. AHP-faktorer för olika konsekvenskategorier, Projekt Citybanan.

Konsekvenskategori	AHP faktorer		
	Utan hänsyn till konsekvensklass	Konsekvensklass: Katastrofal	Konsekvensklass: Allvarlig
Miljöpåverkan	0,196	0,141	0,34
Samhällspåverkan	0,528	0,112	0,239
Fördyring	0,146	0,08	0,14
Goodwillförlust	0,13	0,666	0,281

Liksom var fallet vid Projekt Hallandsås innebär konsekvensklassen Katastrofal att goodwillförlusten gör att projektet avslutas. Detta ger följaktligen en mycket stor tyngd åt kategorin vid just denna konsekvensklass.

Resultatet av jämförelsen mellan konsekvensklasserna inom varje kategori visas i Tabell 12. I denna visas förutom de beräknade AHP-vikterna även kvoten dem emellan.

Tabell 12. Jämförelse mellan konsekvensklasser, Projekt Citybanan.

Konsekvensklass	Konsekvenskategori							
	Miljöpåverkan		Samhällspåverkan		Fördyring		Goodwillförlust	
	AHP faktor	Kvot	AHP faktor	Kvot	AHP faktor	Kvot	AHP faktor	Kvot
Katastrofal	0,501	1,90	0,513	1,76	0,554	1,93	0,661	3,93
Allvarlig	0,264	1,74	0,291	2,39	0,287	4,10	0,168	1,83
Stor	0,152	2,76	0,122	2,60	0,07	1,40	0,092	1,88
Liten	0,055	1,90	0,047	1,68	0,05	1,28	0,049	1,63
Obetydlig	0,029		0,028		0,039		0,03	

Som framgår av Tabell 12 är kvoten inte konstant. Detta gäller även vid den ”lättbedömda” kategorin Fördyring. Om man gör en jämförelse med objektiva kvoter finner man att skillnaden är stor, se Tabell 13. Den objektiva kvoten är jämn, medan kvoten mellan AHP-faktorerna varierar ganska oregelbundet.

Tabell 13. Kvoter för kategorin Fördyring, Projekt Citybanan.

Konsekvensklass	AHP faktor	Kvot AHP	”Objektiv” kvot	Beskrivning av konsekvensklass
Katastrofal	0,554	1,93	10	>1000 MSEK
Allvarlig	0,287	4,10	10	100-1000 MSEK
Stor	0,07	1,40	10	10 - 100 MSEK
Liten	0,05	1,28	10	1 - 10 MSEK
Obetydlig	0,039			< 1 MSEK

En källa till osäkerhet i AHP-bedömningen är att det inte vid analystillfället angavs någon övre gräns för en katastrofal fördyring (vid beräkningen av ”objektiv kvot” i Tabell 13 har använts 10 ggr den lägre gränsen). Den låga kvoten mellan klasserna ”Liten” och ”Obetydlig” kan orsakas av att skillnaden mellan dem subjektivt upplevs som liten i ett så stort projekt.

Skillnaden mellan ”objektiva” kvoter och kvoterna mellan AHP-vikter kan även uppkomma genom att man använt en verbal skala vid bedömningen (skalan översätts vid analysen till värden mellan 1 och 9). Vid kontakter med tillverkaren av det använda programmet framkom att det är möjligt att i fall som med en kostnad lägga in själva kostnaden i stället för värden från skalan. Detta har gjorts i efterhand och då erhöles de värden som visas i Tabell 14.

Tabell 14. Kvoter för kategorin Fördyring, Projekt Citybanan.

Konsekvensklass	AHP faktor	Kvot AHP	”Objektiv” kvot	Beskrivning av konsekvensklass
Katastrofal	0,9	10,00	10	>1000 MSEK
Allvarlig	0,09	10,00	10	100-1000 MSEK
Stor	0,009	9,00	10	10 - 100 MSEK
Liten	0,001		10	1 - 10 MSEK
Obetydlig	0			< 1 MSEK

Det kan dock antas att de korrekta AHP-faktorerna inte ges av den senare metoden (Tabell 14), eftersom man även behöver ta hänsyn till subjektiva preferenser som i Tabell 13. Principiellt görs detta genom att man tar hänsyn till en nyttofunktion (utility function). Detta gör analysen mer komplicerad och tidskrävande, men kan göras inom ramen för AHP-metoden och med samma programvara. Det är alltså helt möjligt att med AHP-metoden ta fram ”riktiga” faktorer för kostnads- och tidsöverskridande, där skadeklassen beskrivs med siffror.

## **4 Del 2 - Beräkning av total riskexponering**

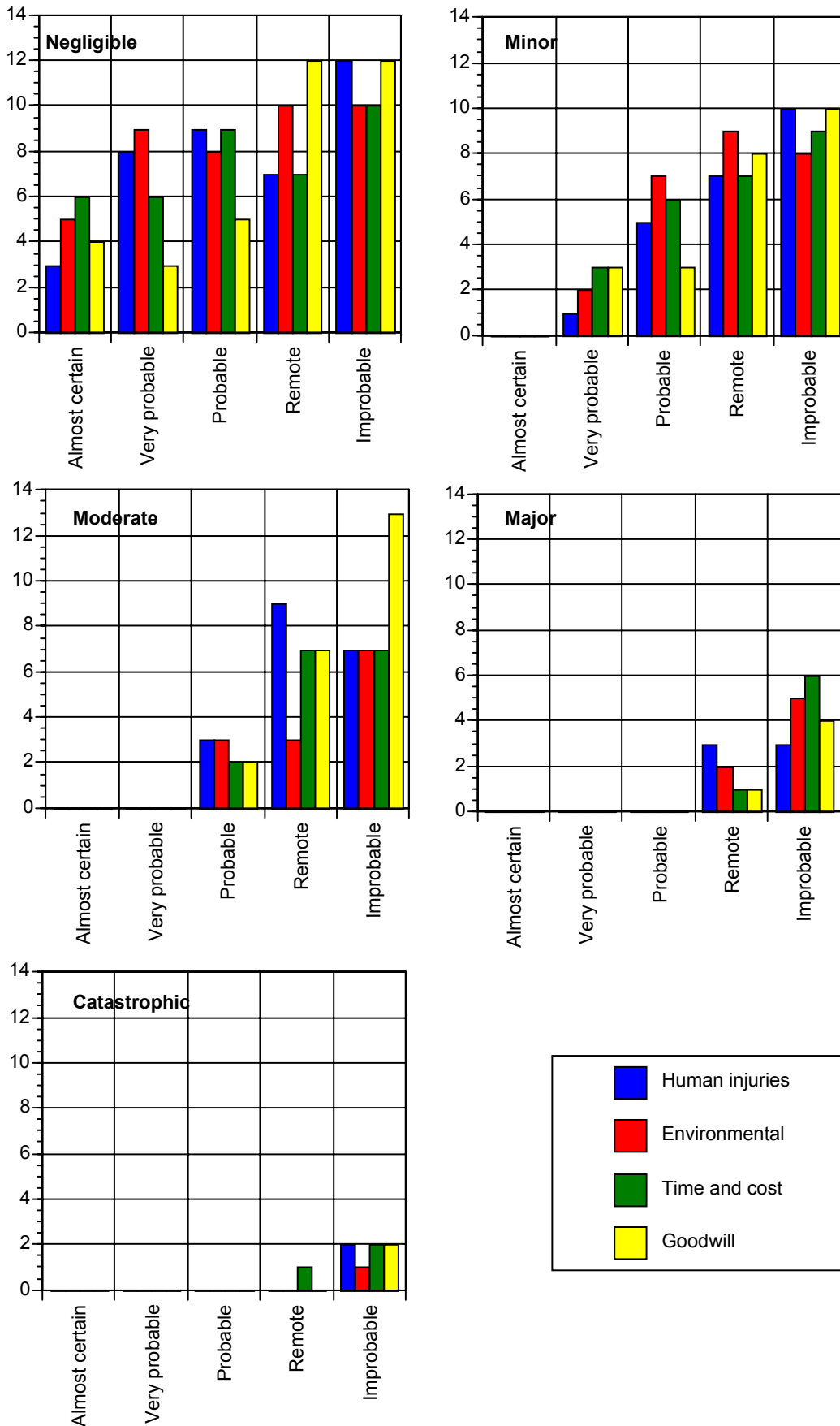
### **4.1 Total riskexponering**

#### **4.1.1 Behov av redovisning och sätt att redovisa**

Som beskrivits tidigare fattas ofta beslut om behov av åtgärder för varje risk för sig. Detta innebär en outtalad princip att man kan acceptera hela systemet ur risksynpunkt om varje ingående risk kan accepteras separat. Detta är felaktigt, något som uppmärksammats på senare tid, se t.ex. MIL-STD-882E (draft). Behovet av att redovisa den totala riskexponeringen har två grundorsaker:

- Man vill se att man inte överskrider sin accepterade totala riskbudget.
- Man vill se om den totala riskexponeringen ändras med tiden, t.ex. som en följd av riskminskande åtgärder.

Det finns olika sätt att redovisa den totala riskexponeringen. Ett sätt är att göra det för varje kategori för sig, se exempel i Figur 11. Eftersom man har riskerna definierade med likelihoodklass, konsekvenskategori och konsekvensklass måste man dela upp diagrammet som blir omfattande och inte helt överskådligt.



Källa: RAG, Hallandsås  
 Figur 11. Redovisning av den totala riskexponeringen, Projekt Hallandsås.



upprepade risker, något som tidigare beskrivits. Dessutom skall man observera, att olika risker är aktiva endast en del av tiden och att man vid summeringen endast bör ta med risker som är aktiva vid den aktuella tidpunkten.

Vi har också i princip siffervärden på kostnadsöverskridande och på fördröjning, fast i det allmänna fallet har man dessa värden var för sig. (Vid Projekt Hallandsås är de så hårt kopplade att man valt att slå ihop dem).

För övriga konsekvenskategorier saknas sådana siffervärden. För att vi skall kunna summera dessa konsekvenser inom en kategori krävs vikter av den typ som visas i Tabell 14, men dessa vikter gäller bara inom den speciella kategorin, vi kan ännu inte summera risker som hör till olika kategorier. För att kunna göra en sådan summering behövs vikt faktorer som är övergripande för alla kategorier.

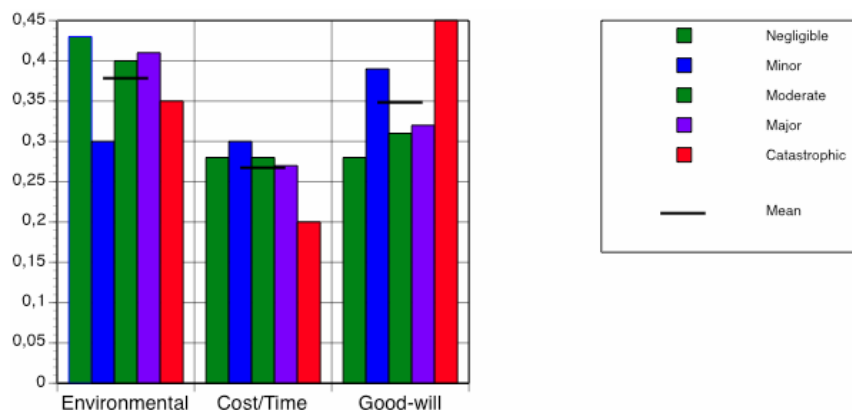
Sådana vikt faktorer har bestämts med AHP-metoden. Detta gjordes genom att de olika kategoriernas inbördes vikt bestämdes och att sedan dessa vikter kombinerades med vikterna inom varje kategori.

### 4.1.3 Relativa vikter mellan olika kategorier.

Eftersom det är svårt att bestämma dessa utan hänsyn till vilken konsekvensklass som betraktas gjordes jämförelsen mellan kategorierna för varje konsekvensklass. Resultatet visas i Tabell 15 och i Figur 13.

Tabell 15. Kategoriernas inbördes vikter.

Kategori	Medelvärde
Environmental	0,38
Cost/Time	0,27
Good-will	0,35



Figur 13. Kategoriernas inbördes vikter för olika konsekvensklasser.



Det höga värdet för goodwill på nivån Catastrophic, beror möjligen på definitionen av klassen: Att projektet avbryts i förtid. När sedan värdena från AHP-analysen av kategoriernas inbördes vikter kombineras med vikterna inom varje kategori fås övergripande vikt faktorer, se Tabell 16.

Tabell 16. Övergripande vikt faktorer.

<b>Environmental damage</b>	Medel	CoV	Kvot
Catastrophic	0,19	32%	1,92
Major	0,10	43%	1,80
Moderate	0,06	42%	2,96
Minor	0,02	46%	1,27
Negligible	0,01	32%	
<b>Cost/Time overdraft</b>			
Catastrophic	0,15	75%	2,01
Major	0,07	71%	3,06
Moderate	0,02	64%	1,79
Minor	0,01	66%	1,40
Negligible	0,01	73%	
<b>Good-will</b>			
Catastrophic	0,17	42%	2,01
Major	0,08	47%	1,22
Moderate	0,07	77%	2,64
Minor	0,03	51%	2,03
Negligible	0,01	56%	

På samma sätt kan övergripande vikt faktorer beräknas för Projekt Citybanan. Då avsikten där är att justera de nu använda klassbeskrivningarna och eventuellt upprepa AHP-analysen redovisas dessa övergripande faktorer inte här.

Med hjälp av dessa vikter (medelvärdena) kan man sedan beräkna den totala risk exponeringen. Man beräknar då en ekvivalent konsekvens som är summan av de olika konsekvenskategorierna där konsekvensklassen multiplicerats med korrekt faktor. Betrakta den risk som visades i Figur 3, se Tabell 17.

Tabell 17. Vikt faktorer för en identifierad risk.

Kategori	Konsekvensklass	Faktor (ur Tabell 15)
Environmental	Major	0,10
Cost/Time	Major	0,07
Good-will	Catastrophic	0,17
<b>Ekvivalent konsekvens</b>		<b>0,34</b>

Om denna ekvivalenta konsekvens multipliceras med tillhörande sannolikhet får man riskens bidrag till den totala risk exponeringen. Genom att upprepa dessa beräkningar för alla aktiva risker och summera alla bidragen får man den totala risk exponeringen, som då är ett enda tal. Man kan givetvis dela upp risk exponeringen efter kategori om så önskas. Man viktat då med de inbördes faktorerna.

Dessa beräkningar av total risk kan sedan upprepas när åtgärder vidtagits, efter ytterligare riskanalyser etc. Man får härigenom en beskrivning av hur riskexponeringen varierar med tiden.

Men det finns ytterligare ett skäl att betrakta den totala riskexponeringen. Visserligen antas alla individuella risker vara accepterade, men det innebär inte med nödvändighet att den totala exponeringen är acceptabel. Det kan ju visa sig att man har dragit på sig ett stort antal risker som var för sig accepterats enligt projektets normer, men att den totala riskexponeringen blivit så stor att den kräver åtgärder. Dessa kan vara att man måste gå tillbaka och kräva att man åtgärdar vissa risker som redan accepterats, eller att tidplanen ändras så att ”riskabla” aktiviteter inte pågår parallellt. Det kan också innebära att man måste skärpa kraven på åtgärdande av kommande risker

## **4.2 Tillåten riskexponering**

### **4.2.1 ”Riskbudget”**

Den tillåtna riskexponeringen bestäms av den ”riskbudget” som man har bestämt för projektet. Denna riskbudget kan i princip bestämmas för sådana risker som har ekonomiska konsekvenser med hjälp av beslutsteoretiska metoder. Till dessa risker hör förutom rena kostnadsrisken även de delar av övriga risker som ger ett direkt utlägg.

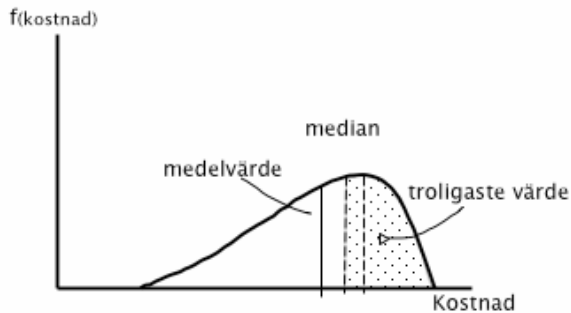
Övriga risker bör dock kunna ges en budget, sålunda arbetar man inom försvarsmakten med riskbudget för mänskligt lidande, Ekholm (2006). Hur detta bäst skall göras ligger utanför denna förstudie, i fortsättningen betraktas för diskussionens skull huvudsakligen monetära risker.

Vid skattningen av kostnaden för ett projekt utgår man vanligen från en bedömd grundkostnad. Grundkostnaden är i princip medelvärdet av kostnaderna för all i entreprenaden ingående arbeten.

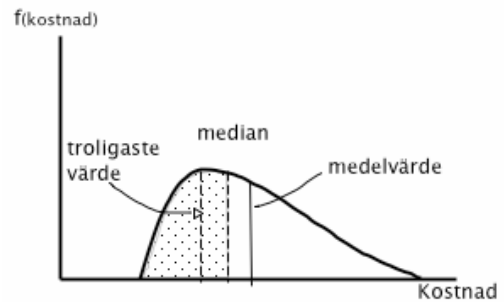
Risker i en entreprenad kan vara av två grundtyper:

- Risker som beror på osäkerheter kring en ”händelse” som ingår i entreprenaden, t.ex. att kostnad för betong blir högre än den som antagits i grundkostnaden, att grundläggning blir billigare etc.. Osäkerheterna i grundkostnaden kan således vara både ”risker” och ”chanser”.
- Risker som beror på att oönskade händelser inträffar, t.ex. ett större ras, som leder till kostnader helt utanför själva grundkostnaden.

Om man utgår från medelvärdet av kostnaden för ett moment som ingår i entreprenaden kommer sannolikheten att den verkliga kostnaden blir lägre (chans) eller högre (risk) att bero på hur kostnadens sannolikhetsfördelning ser ut. Om den är symmetrisk är det lika sannolikt att den överskrids som att den underskrids. Om den däremot är skev som i Figur 14a, är det mer sannolikt att den överskrids (risk) och om den ser ut som i Figur 14b är det mer sannolikt att den underskrids (chans). Det skuggade fältet i figurerna, vilket begränsas av medianen, motsvarar en sannolikhet av 50 %.

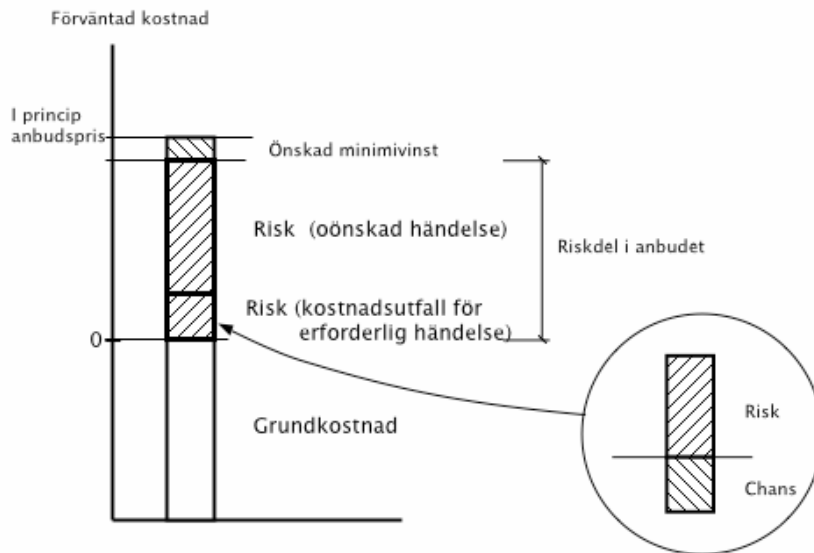


Figur 14 a. Skevhet hos fördelning som innebär risk



Figur 14 b. Skevhet hos fördelning som innebär chans

Dessa risker (och chanser) innebär att det kan finnas en förväntad förlust (sannolikhet • kostnad) som rimligen skall täckas av riskbudgeten (om chanserna överväger kan man minska riskbudgeten). Man får då att anbudet principiellt bör vara sammansatt som i Figur 15.



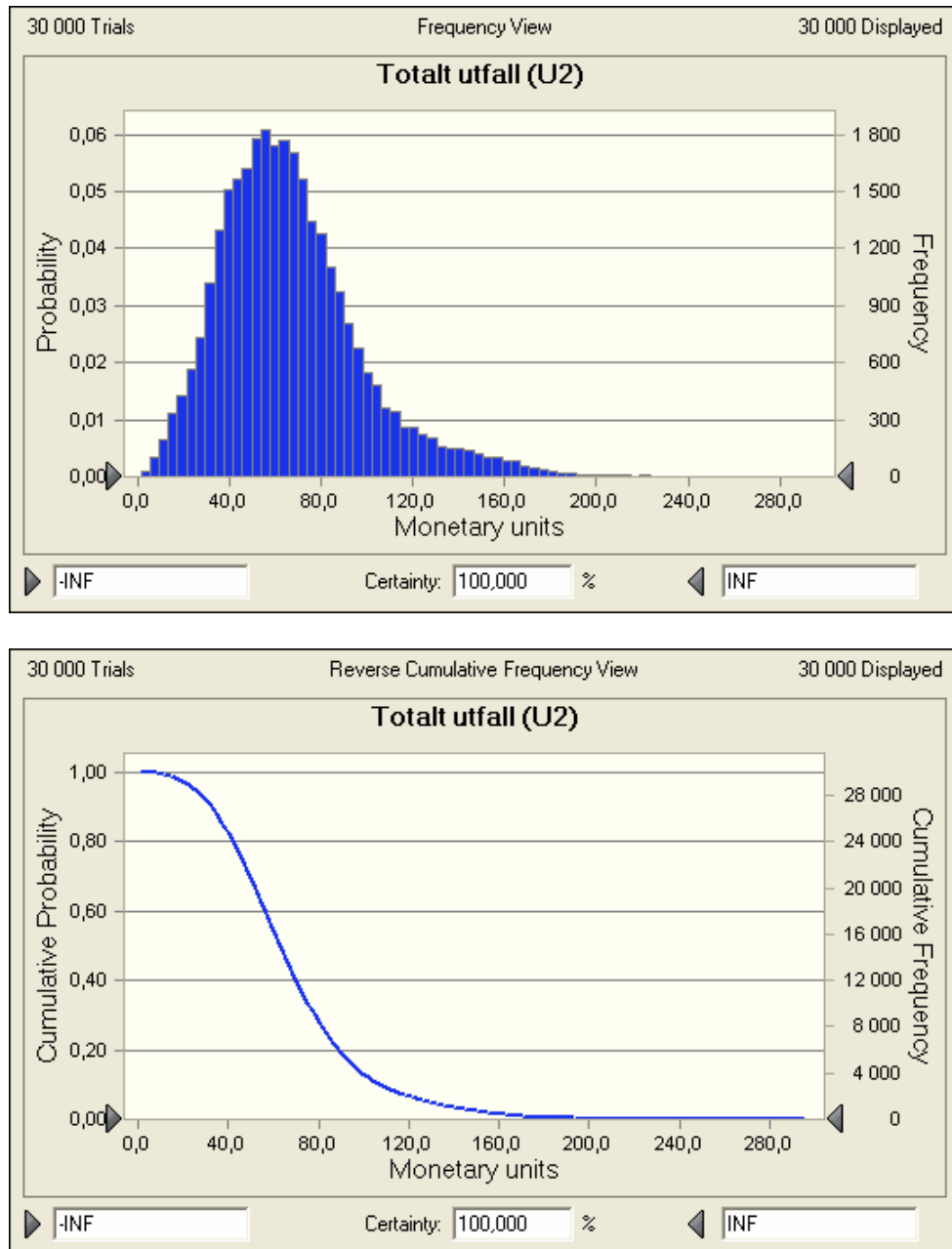
Figur 15. Anbudets principiella sammansättning.

#### 4.2.2 Utfall av risker

Om en risk faller ut påverkar det den återstående delen av riskbudgeten med ett större belopp än den förväntade förlusten för just den risken. Antag att risken har en sannolikhet att falla ut av 1/10 000 och att kostnaden om den faller ut är 500 000 kr. Dess förväntade förlust är då 50 kr och det är riskens del i den totala riskbudgeten. Men när risken faller ut tar den 500 000 verkliga kronor i anspråk ur riskbudgeten. Vid utfallet ökar alltså beloppet med faktorn 1/p. Detta är något som måste beaktas när man fastställer riskbudgeten och eventuellt bör man på ett tidigt stadium försäkringsmässigt skydda sig (principen kan då vara att risken får ingå i en större portfölj som klarar ett utfall).

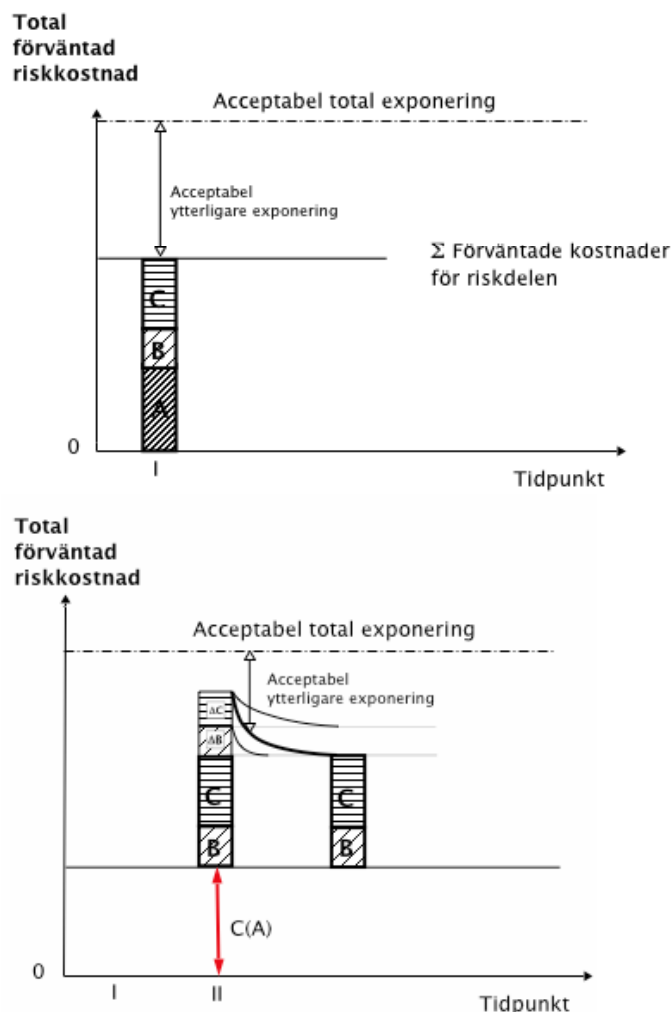
Ett hjälpmedel vid bedömning av behov av försäkringar etc. kan vara en simulering av möjliga utfallskostnader. Det är ju så att sannolikheten för att åtminstone en risk skall falla ut

är summan av sannolikheterna för de ingående riskerna och att sannolikheten för att alla riskerna skall falla ut är produkten av deras sannolikheter. Med en så kallad Monte Carlo simulering kan man få fram en statistisk beskrivning av sannolikt utfall, se Figur 16, som beräknas utifrån kostnadskonsekvensen för de identifierade och accepterade riskerna i projektets riskregister/riskdatabas. Man kan t.ex. se i den undre bilden att sannolikheten att överskrida 80 monetära enheter är c:a 30 %. Medelvärdet är 66,7 monetära enheter (= förväntade förlusten). 90 %-fraktilen  $\approx$  106 monetära enheter.



Figur 16. Ett hypotetiskt exempel med möjliga kostnader för risker som faller ut. Den övre bilden visar sannolikhetstäthetsfördelningen medan den undre visar invers kumulativ fördelning (sannolikheten att överskrida en kostnad).

Men ett utfall av en risk påverkar också de kvarvarande riskerna i projektet och eventuellt även inom andra projekt. Se Figur 17.



Figur 17. Inverkan av utfall av en risk (princip). Den övre bilden visar ursprunglig riskexponering medan den nedre visar riskexponering efter att risken A fallit ut.

För enkelhetens skull illustreras i Figur 17 endast de förväntade kostnaderna för tre risker, A, B och C, och endast riskkostnaden (alltså inte kostnad för säkra händelser). Antag att vid tidpunkten I så faller risken A ut. Vi får då den situation som visas i Figur 17, nedre diagrammet. Förutom själva konsekvensen av A, d.v.s.  $C(A)$  får de övriga riskerna ett tillägg  $\Delta B$  respektive  $\Delta C$ . Dessa tillägg inverkar på den resterande (efter utfallet) acceptabla totala exponeringen och påverkar därför ställningstaganden om kvarstående risker. Tilläggen till den förväntade riskkostnaden kan orsakas både av en ökning av konsekvenserna om en risk faller ut och en bedömd ökning av sannolikheten att den faller ut. Tilläggen är också beroende av tiden från utfallet och klingar med tiden av.

En ökning av konsekvenserna kan gälla t.ex. en risk med huvudsakligen goodwill-konsekvens. En reversibel miljöskada kommer exempelvis att vara allvarligast, både faktiskt och hur händelsen mottas av externa intressenter, i det ögonblick den inträffar och därefter avklinga för att till sist inte påverka projektet negativt. Då risken är som allvarligast kan den

ha stor påverkan på projektet även om den inte har en stor miljömässig eller ekonomisk relevans. Detta accentueras i dagens stora infrastrukturprojekt som ofta är hårt bevakade av omvärlden och icke sällan politiskt och ekonomiskt ifrågasatta.

Man kan således sammanfattningsvis konstatera att man är känsligare för ytterligare riskutfall under tidsperioden närmast efter att en eller flera risker redan fallit ut.

En ökning av de bedömda sannolikheterna gäller alla riskkategorier. Risker som är accepterade (utan eller efter riskreducerande åtgärder) och som inte har försumbara eller mycket små konsekvenser, har rimligtvis en låg sannolikhet att falla ut. Man måste ställa sig frågan om utfallet av risken verkligen är slumpmässigt, en "Act of God" eller om det är fel i åsättandet av sannolikheter. Detta kan vara mycket allvarligt, särskilt om felet är systematiskt.

Sammanfattningsvis orsakas ökningen vanligen av misstro: "Dom vet inte hur farligt det kan bli eller hur lätt det är att sådant här händer". Detta gör att ökningen påverkas av ett antal faktorer:

- Är det en risk som man kan förstå och hört talas om förr?
- Är det en risk som har drag av stark fruktan (eng. "dread")?
- Är det en risk man tror kan kontrolleras?
- Utfaller risker ofta, dvs. kan få uppfattningen att läget inte är under kontroll?

En bedömning av ökningens storlek bör kunna göras utifrån teorier om hur risker upplevs, men det arbetet ligger utanför ramen för denna förstudie. Om riskökningen orsakas av en systematisk felskattning av sannolikheter kan den givetvis beräknas.

Hur risken avklingar med tiden är inte känt. Det finns dock skäl att anta, jämför Björkman (1987), att den avklingar exponentiellt med tiden. Detta gäller dock inte "faktiska" ändringar av sannolikheter, en sådan ökning avklingar inte förrän åtgärder vidtagits.

## 5 Resultat, användbarhet och framåtblickar

### 5.1 Sammanfattning av resultatet

Förstudien har utförts under 2006 och fokuserats kring Projekt Hallandsås och Projekt Citybanan. Projektarbetet har lett till den generella slutsatsen att beskrivning av total riskexponering inom stora projekt är ett komplext och mångfacetterat ämne. Flera svårigheter måste övervinnas för att erhålla en tydlig och förståelig metodik.

För att återknyta till projektets syfte (Avsnitt 1.2) kan man konstatera att föreliggande rapport och bilagor presenterar en *”tänkbar metodik att ta fram riskmatriser där man på ett korrekt och invändningsfritt sätt kan hantera problemet med den totala riskexponeringen i ett projekt.”*

Projektet har också visat på en fenomenologisk princip att beskriva riskutfall och dess koppling till tid och riskbudget. Användningen av AHP metoden som ett operativt verktyg i projekt har verifierats och förfinats.

Förstudien visar följande specifika slutsatser:

- Att det finns behov av att använda riskmatriser som är kalibrerade.
- Att denna kalibrering kan göras med den så kallade AHP-metoden.
- Att det går att beräkna omräkningsfaktorer så att man kan beräkna den totala riskexponeringen.
- Att risker som fallit ut påverkar riskbudgeten.
- Att risker som fallit ut påverkar (ökar) kvarvarande risker.

### 5.2 Metodikens användbarhet och behov av ytterligare arbete

Vid den praktiska tillämpningen av AHP som metodik för kalibrering av axlar och beräkning av omräkningsfaktorer har vi funnit att det krävs en mycket noggrann och tydlig genomgång av metodiken. Eljest kommer man att få avsevärda problem med missuppfattningar och självmotsägelser. Vi rekommenderar därför att metoden används, men att den parvisa jämförelsen som ger viktfaktorerna inte görs enskilt utan i grupp och att konsensus eftersträvas. Vid arbete i grupp får man följande fördelar:

- Bättre inblick i problemställningen.
- Tillfälle att i grupp diskutera de möjliga konsekvenserna.
- Den önskade jämförelsen mellan olika konsekvenser.

Användandet av en metodik för att beskriva den totala riskexponeringen i stora infrastrukturprojekt, där många risker identifieras, har stor potential och är efterfrågad i branschen. Den metod som presenteras i föreliggande rapport fungerar, är rimligt hanterbar och synes därför användbar. Den inkluderar också en princip att hantera upprepade risker.

Som nämnts tidigare är föreliggande arbete en förstudie och det kvarstår en del arbete som inte tagits med i detta steg:

- Upprepade risker
  - Beräkningshjälpmedel och metodblad behöver tas fram för risker där en händelse (ett arbetsmoment) upprepas ett antal gånger eller där en fara är

beroende av under hur lång tid eller på hur lång sträcka ett arbete förekommer.

- Riskbudget
  - Principer för hur man skall bedöma hur stor riskbudgeten bör vara. Detta gäller även risker som gäller miljöskador och förlust av goodwill. Här ingår också en bedömning av hur stor del av den förväntade förlusten som skall ingå i riskbudgeten.
- Mänskligt lidande
  - Hanteringen av mänskligt lidande och död bör behandlas separat från övriga risker. Den metodik som används vid FMV bör studeras och anpassas.
- Riskökning och avklingande
  - Grunderna för hur man skall beräkna riskökning orsakad av utfallande risker bör studeras liksom även ökningens avklingande med tiden.
- Lärobok
  - Det behöver utarbetas en praktisk lärobok på svenska om hur man arbetar med riskhantering med hjälp av riskmatriser, hur man kalibrerar dessa och hur man beräknar total riskexponering.

För att fortsatt utveckling av ovanstående punkter (samt en generell utveckling av metodiken) ska bli framgångsrik bör den utföras av en projektgrupp sammansatt av personer med forskningsvana, med kunskap om praktisk riskhantering samt med erfarenhet av praktiskt arbete i stora anläggningsprojekt. Utveckling kan ske i samarbete med lämplig högskola, både senior forskning och doktorandarbete (för vissa delar) är tänkbara.



## 6 Referenser

- Bailey, R.T., 1997: Estimation from Zero-Failure Data *Risk Analysis*, Vol. 17, No. 3, 1997.
- Björkman, M., 1987: Time and risk in the cognitive space. I *Risk and society*, Sjöberg, L., Allen & Unwin, London.
- Clemens, P.L., Pfitzer, T., Simmons, R. J., Dwyer, S., Frost, J. & Olsson, E., 2005: The RAC Matrix: A Universal Tool or a Toolkit? *J. of System Safety* March-April 2005, pp 14-19.
- Ekholm, R., 2006: Personlig kommunikation.
- Kaplan, S., 1997: The Words of Risk Analysis, *Risk Analysis*, Vol. 17, No. 4.
- Räddningsverket. 1989: Att skydda och rädda liv. Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten. Karlstad, Räddningsverket.
- Räddningsverket, 2003: Handbok för riskanalys. Räddningsverket, Karlstad.
- Saaty, Th.L., 1990: The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, USA.
- Stephans, R.A., 2004: System Safety for the 21<sup>st</sup> Century.

## **7 Bilagor**

Bilaga 1: AHP metoden beskrivning.

Bilaga 2: Artikel ur V-byggaren Nr. 4/2006.

Bilaga 3: Konferensbidrag ICASP 10, 2007 (To be published)