



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R23:1988

Möjlighetsteori och diffusa mängder

Nya idéer för riskanalys och beslutsfattande

Leif Andersson

*R
Jull*

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	<i>Ser</i>

Byggforskningsrådet

R23:1988

MÖJLIGHETSTEORI OCH DIFFUSA MÄNGDER

Nya idéer för riskanalys och beslutsfattande

Leif Andersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821769-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för
brobyggnad, KTH, Stockholm.

REFERAT

Rapportens huvudsyfte är att presentera tre nya metoder för riskanalys och beslutsfattande.

Metoderna bygger på teorin för diffusa mängder, som är en utvidgning av mängdläran. Ur teorin för diffusa mängder har utvecklats "diffus logik" och "möjlighetsteori". Den senare ligger till grund för rapportens metoder, som kan ses som alternativ till sannoliketskalkyl. Möjlighetsteorin är anpassad till "humanistiska" systems subjektiva och begränsande informationsinnehåll.

De tre metoder som utvecklats är: Riskindikation, baserad på felträdsanalys, påvisar svaga länkar i ett system och kan användas för optimering av kontrollinsatser. Diffus riskrangordning, approximativare än riskindikation, kan användas för att riskjämföra olika system och att identifiera riskfaktorer i dem. Sammanjämkning av subjektiva värderingar, kan användas som beslutsunderlag där underlaget främst utgörs av lingvistiska data, värderingar och expertutlåtande.

I rapporten ges översikter över rådande traditionella idéer, teorier och metoder inom riskanalysområdet som bakgrund till de föreslagna metoderna.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R23:1988

ISBN 91-540-4862-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLL

FIGURFÖRTECKNING

TABELLFÖRTECKNING

BETECKNINGAR

FÖRORD

SAMMANFATTNING.....	13
1	INTRODUKTION..... 23
2	RISKANALYS, EN ÖVERSIKT..... 27
2.1	Traditionella metoder..... 27
2.2	Riskanalys och byggnadsindustrin..... 40
2.3	En diskussion om byggnadsindustrins speciella förutsättningar..... 43
3	DIFFUSA MÄNGDER..... 49
3.1	Introduktion..... 50
3.2	Teoretisk bakgrund..... 52
3.2.1	Diffusa mängder..... 52
3.2.2	Diffus logik..... 59
3.2.3	Möjlighetsteorin..... 62
3.2.4	Medlemskapsfunktioner..... 68
3.3	Speciella egenskaper..... 70
3.4	Applikationer..... 72
3.4.1	Användningsområden..... 72
3.4.2	Applikationer inom byggnadsindustrin... 76
4	EXEMPEL PÅ NYA METODER..... 95
4.1	Riskindikation..... 96
4.1.1	Metodbeskrivning..... 96
4.1.2	Exempel..... 102
4.1.3	Utvärdering..... 127
4.2	Diffus riskrangordning..... 129
4.2.1	Metodbeskrivning..... 129
4.2.2	Exempel..... 135
4.2.3	Utvärdering..... 143
4.3	Sammanjämkning av subjektiva värderingar. 144
4.3.1	Metodbeskrivning..... 144
4.3.2	Exempel..... 149
4.3.3	Utvärdering..... 154
5	SLUTSATSER..... 157
REFERENSER.....	161

FIGURFÖRTECKNING

- 2.1 Enkelt felträd
- 2.2 Principiellt händelseträd
- 2.3 Enkelt funktionsblockschema
- 2.4 Skillnad mellan "verklig" och "beräknad" brottsannolikhet

- 3.1 En konvex diffus mängd
- 3.2 Jämförelse mellan vanliga och utvidgade operatorer
- 3.3 Sanningsrummet
- 3.4 Schematisk bild av diffusa möjligheten $\approx 0,7$
- 3.5 Klassningsdiagram föreslaget av Pugsley, 1973
- 3.6 Parallell modell för säkerhetsvärdering
- 3.7 En gren av Blockley's, 1981, föreslagna modell av säkerheten
- 3.8 Schematisk bild av FRIL
- 3.9 Diffus mängd för betydelse

- 4.1 Diffusa möjligheter och grad av kunskap
- 4.2 Schematisk bild av beräkningsproceduren
- 4.3 Modifierat felträd för analyserat exempel
- 4.4 Möjlighetsvärden för topphändelsen
- 4.5 Inverkan av de primära felhändelserna på topphändelsen
- 4.6 Inverkan av de primära felhändelserna på händelse X1
- 4.7 Möjlighetsvärden för mellanliggande händelser
- 4.8 Inverkan av kontrollpunkterna på topphändelsen
- 4.9 Modifierarfunktion för grad av kunskap
- 4.10 Diffus rangordning för utfall a_1 , exkluderat grad av kunskap
- 4.11 Diffus rangordning för utfall a_1 , inkluderat grad av kunskap
- 4.12 Diffus rangordning enligt MAX
- 4.13 Diffus rangordning enligt θ
- 4.14 Diffus rangordning enligt MAX efter nya osäkerhetsvärderingar
- 4.15 Inverkan av grad av kunskap på mängden "normal betydelse"
- 4.16 Diffusa viktfaktorer

- 4.17 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 1
- 4.18 Jämförelse med olika grader av signifikans för metod föreslagen av Elms
- 4.19 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 1 med beaktande av grad av kunskap
- 4.20 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 2

TABELLFÖRTECKNING

- 2.1 Definition av härkomst i N:U:S:A:P
- 2.2 Exempel på en FMEA-tabell

- 3.1 Logiska samband för $A \Rightarrow B$

- 4.1 Exemplets möjlighetsvärderingar
- 4.2 Rangordning av de primära felhändelserna
- 4.3 Riskidentifikation för den numeriska beräkningen
- 4.4 Osäkerhetsvärdering för rangordningen
- 4.5 Kunskapsvärdering för samtliga utfall
- 4.6 Värdet för grad av signifikans
- 4.7 Grad av signifikans och åsatta värden för exempel 2

BETECKNINGAR

\forall	För varje
ε	Tillhör
sup	Supremum (minsta övre gräns)
u	Union
n	Snitt
\bar{A}	Komplement till A
\emptyset	Tomma mängden
{ }	Diskret mängd
[]	Kontinuerlig mängd
$\mu_A(x)$	Medlemskapsfunktionsvärde för x med avseende på den diffusa mängden A
*	Operator
\otimes	Utvidgad operator
$\widetilde{\text{MAX}}$	Utvidgad maximum
$\widetilde{\text{MIN}}$	Utvidgad minimum
τ	Sanningsvärde
π	Möjlighetsfördelning
Π	Möjlighetsmått
$\widetilde{\Pi}$	Diffus möjlighet
P	Sannolikhetsmått eller, alternativt, tillförlitlighetsfaktor
R	Riskfaktor
X-händelse	Avser en felinducerande händelse i ett modifierat felträd
Q-händelse	Avser en kontrollhändelse i ett modifierat felträd
=>	Implikation

FÖRORD

Föreliggande rapport är ett resultat av åtta års forskning om säkerhetsfrågor och riskanalys. Tre nya idéer presenteras som från uppslag, eller kanske snarare nedslag, till bärkraftiga idéer har tagit en vecka vardera. Resterande del av tiden har åtgått till dokumentation, verifiering, tvivel, studier och diskussioner. Trots att jag inte har forskat på heltid innebär det ändå att mitt forskningsarbete varit som en gammal klyscha, "blod, svett och tårar".

Rapporten, såväl som mina tidigare om diffusa mängder, är knappast något briljerande med formler och teori utan snarare ett försök till att presentera nya ideer som ger rimliga resultat och som, förhoppningsvis, på sikt kan bidra till en ökad användning av riskanalys inom bygnadsindustrin. Det är min övertygelse att rapportens inriktning är lämplig för nuvarande stadium hos det problemområde som behandlas, nämligen analys av humanistiska diffusa bygnadsindustriella system. Idéerna, metoderna och orden är mina egna men självklart har jag påverkats av min omgivning. Jag väljer att nämna några, bitvis slumpartat, utvalda:

Jan-Erik Jansson och Tage Petersson som fick mig att börja forska.

Marlene, och William, som dock inte tycker om att pappa jobbar och speciellt inte hemma.

Maj-Britt Eriksson och övriga sekreterare som hela tiden hjälpt mig med utskrift av rapporter och artiklar.

John Olson för sin hjälp med arbetet avseende riskindikation.

Ritva som manar på mig då jag varit för slö och inaktiv.

Mogens Lorentsen som varit mitt grundstöd, och slutligen

Byggeforskningsrådet och Institutionen för Brobyggnad som varit mitt finansiella stöd.

SAMMANFATTNING

Risicanalys och metoder för beslutsfattande är ännu relativt okända, och outnyttjade, begrepp inom byggnadsindustrin. Intresset har dock vaknat och mycket tyder på att riskanalys i framtiden kommer att ingå som en naturlig del i varje projekt av betydelse. Så är redan idag fallet inom andra industrigrenar såsom kärnkraftsindustrin och flygindustrin som därmed har utvecklat metoder anpassade för de förhållanden som råder för dessa industriapplikationer. Byggnadsindustrin bör ta tillvara denna kunskap, men måste anpassa metoderna till de speciella förhållanden som råder inom byggnadsindustrin. I rapporten hävdas att metoderna främst bör modifieras avseende den kvantitativa utvärderingen genom att utnyttja de nya teorierna om diffusa mängder och möjligheter.

Följaktligen ges en översikt över rådande, traditionella, idéer och metoder inom riskanalysen. Termen riskanalys innefattar matematiskt noggranna metoder, som kan åstadkomma relativt exakta resultat, såväl som approximativa metoder. Dessa approximativa metoder är ojämförligt vanligast en följd av att det varken finns information eller resurser tillgängliga för att kunna utföra mer exakta analyser. Bristfällig information gäller speciellt statistiska data om funktionsfel och deras inbördes beroende.

Att resultaten från utförda riskanalyser härstammar från approximativa modeller har ofta inte framkommit med tillräcklig skärpa vilket har medfört att resultat har misstolkats. De numeriska resultaten, som oftast presenteras allena, gäller den kvantitativa utvärderingen medan den kvalitativa analysen med vilken modellen har framtagits inte alls har presenterats. Detta är olyckligt eftersom framtagande av modellen är en minst lika arbetskrävande och väsentlig insats som den kvantitativa, numeriska, utvärderingen.

Risicanalytiska metoder kan klassificeras som induktiva eller som deduktiva metoder. I en induktiv analys startar man vid enstaka komponentfel och bestämmer effekten på det totala systemet. En deduktiv analys är motsatt en induktiv analys och utgår från ett

givet systemfel och undersöker hur detta kan uppkomma.

Presentationen av de vanligaste metoderna följer dock inte denna uppdelning utan metoderna presenteras istället från exakta till mer och mer approximativa metoder. Till exempel via simulerings-teknisk sannolikhetsutvärdering, felträds- och händelseträdsanalys till felmods och effektanalys (FMEA).

Efter denna genomgång diskuteras riskanalys inom byggnadsindustrin avseende tillämpningar och speciella förutsättningar. Insatserna inom byggnadsindustrin rörande säkerhet och tillförlitlighet har dock hitintills koncentrerats på framtagande av nya, sannolikhetsbaserade normer. Under de senaste åren har dessutom QA/QC börjat tillämpas mer systematiskt. Vad gäller riskanalys har tillämpningarna däremot varit fåtaliga och mer av approximativ karaktär. Intresset lär dock öka speciellt i samband med det växande intresset för analys av grova fel. Detta eftersom grova fel har påvisats vara huvudorsaken till inträffade olyckor och att dessa fel bäst motverkas med utbildning och kontroll, insatser som bäst kan bestämmas efter en utförd riskanalys.

Att traditionella metoder inte direkt kan tillämpas av byggnadsindustrin framgår av en genomgång av byggnadsindustrins speciella förutsättningar. Till exempel kan nämnas att varje objekt är unikt och att den tillgängliga informationen om eventuella funktionsfel är synnerligen bristfällig. Dessutom innebär den stora andelen av grova fel att systemen kan betraktas som humanistiska system till skillnad från mekaniska system som har varit förutsättningen för de traditionella metoderna.

Industrin lär dock inte anamma riskanalys förrän man kan påvisa ekonomiska fördelar eller via krav från beställare och normskrivare. Bättre ekonomi kan erhållas med en effektivare allokering av kontrollinsatserna vilket i sin tur kan åstadkommas via en riskanalys. Kontrollen idag sker, lite tillspetsat uttryckt, på måfå och av gammal tradition. Det ska också påpekas att industrin inte enbart styrs av ekonomiska faktorer vilket påvisas av det växande intresset för kvalitet i byggandet.

Teorin om diffusa mängder och möjlighetsteorin är avsedda att vara tillämpbara för situationer med begränsad information och kan följaktligen vara användbara för analys av humanistiska system. Eftersom teorierna ännu är relativt okända ges en grundläggande beskrivning med avsikten att förmedla en förståelse av dessa nya begrepp.

Diffusa mängder innebär en utvidgning av mängdläran. Tidigare har man arbetat med att någonting antingen tillhör en mängd eller ej. Detta kan representeras med en medlemskapsfunktion, $\mu(x)$, som är 0 om x ej tillhör mängden och annars antar värdet 1. I många fall, speciellt för lingvistisk information, är dock en mängd ej entydigt definierad. För en sådan mängd har man förutom medlemskap och icke medlemskap ett diffust område där graden kontinuerligt övergår mellan dessa stadier. Detta innebär att medlemskapsfunktionen $\mu(x)$ kan anta värden inom hela intervallet $[0,1]$.

Elementära operationer som snitt, union och komplement har motsvarigheter inom teorin om diffusa mängder. Om $C = A \cup B$ så är

$$\mu_C = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B)$$

och om $D = A \cap B$ så är $\mu_D = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B)$

samt för $E = \bar{A}$ så är $\mu_E = 1 - \mu_A$.

Förutom dessa grundbegrepp har man inom teorin definierat funktioner av en eller flera variabler. För dessa funktioner är diffusa tal ett viktigt begrepp, där med ett diffust tal avses en normaliserad och konvex diffus mängd. Diffusa tal används med fördel tillsammans med utvidgade operatorer, operatorer som är diffusa mängders motsvarigheter till operatorer såsom + och -. Speciellt kan omnämnas $\widetilde{\text{MAX}}$ och $\widetilde{\text{MIN}}$, som är utvidgade varianter av MAX och MIN. De används i de nya metoder för riskanalys och beslutsfattande och som presenteras längre fram.

Baserat på teorin om diffusa mängder har utvecklats en logik, diffus logik, som rönt stort intresse. Denna har dock ej använts i de metoder som beskrivs i rapporten. En annan teori som baserats på teorin om diffusa mängder är möjlighetsteorin. Skill-

naden mellan diffusa mängder och möjligheter är att möjligheter kan användas i samband med osäkra utfall medan diffusa mängder avser mängder med diffusa gränser. Detta medför att möjlighetsteorin kan ses som ett alternativ till sannolikheteorin.

Möjlighetsteorin är mer än sannolikheteorin anpassad till humanistiska system, med de humanistiska systemens inneboende subjektiva och begränsade informationsinnehåll, enär möjlighetsteorin inte ställer lika stora krav på informationsinnehållet. Detta medför dock att teorin inte kan ge en lika exakt bild av ett analyserat system som är möjligt att erhålla med sannolikheteorin. I riskanalytiska sammanhang kan man se det som att möjlighetsteorin ger en möjlighet att bestämma ordningen av riskfaktoremas betydelse medan sannolikheteorin ger en möjlighet att bestämma både faktoremas ordning och storlek. Vilken teori man ska använda är således beroende av det resultat man vill uppnå men även beroende av den tillgängliga informationen.

Medlemskapsfunktioner och värden för möjlighetsfördelningar är svåra att bestämma exakt. Detta är dock inte nödvändigt och en ungefärlig beskrivning är fullt tillräcklig, en beskrivning som kan åstadkommas på ett flertal olika sätt. Möjlighetsvärden uttrycks med fördel lingvistiskt vilket innebär att värdet utgör en diffus mängd och betecknas med $\tilde{\Pi}$, diffus möjlighet.

Rapportens huvudsyfte är att presentera tre nya metoder för riskanalys och beslutsfattande. Dessa utgör dock bara en liten andel av alla de nya metoder och ideer som har föreslagits baserade på de nya teorierna. Därför ges en kortfattad översikt över andra forskares ideer till nya applikationer och nya metoder. Denna översikt ges med tonvikt på riskanalys och på byggnadsindustriella tillämpningar. Både Blockley's och Yao's insatser är värda ett speciellt omnämnande och bägge är numera inriktade på utveckling av expertsystem. Det kan konstateras att intresset inom forskningsvärlden för diffusa mängder har tilltagit exponentiellt och att man för närvarande har påbörjat praktiska tillämpningar.

De tre nya metoder som framtagits av författaren (Riskindikation, Diffus riskrangordning, Sammanjämkning av subjektiva

värderingar) presenteras både teoretiskt och via exempel. Dessa metoder är bitvis olika, och har varierande omfattning och syfte, men har några gemensamma komponenter. I samtliga utnyttjas subjektiva lingvistiska åsättanden som representeras med diffusa mängder och de operatorer som används är de utvidgade operatorerna. Dessutom åtföljs varje åsättande av ett åsättande av graden av kunskap för detta åsättande. Detta har bedömts som väsentligt eftersom man för varje användningsområde avser att utnyttja subjektiv icke komplett information vilket medför att informationsinnehållet kan tillåtas variera inom en och samma analys. Metoderna är subjektiva vilket innebär att de måste behandlas som sådana och kan därmed ej användas för att påvisa att ett system är tillräckligt säkert och tillförlitligt.

Riskindikation är en ny metod som baserad på traditionella metoder, främst felträdsanalys, avses ge en indikation på riskerna i ett system och att påvisa systemets svaga länkar. Avsikten är också att, i viss mån, försöka att optimera insatta kontrollinsatser.

Riskindikation kan uppdelas i 6 olika steg:

- Riskidentifikation
- Modellbestämning (modifierat felträd)
- Möjlighetsvärdering
- Möjlighetsberäkning
- Utvärdering
- Erfarenhetsåterföring

I det första steget, riskidentifikation, ska alla möjliga och "omöjliga" felkällor identifieras. Detta baseras på en induktiv teknik, till exempel en felmods och effektanalys (FMEA). Baserat på riskidentifikationen skapas därefter ett modifierat felträd. Trädet, som utgör själva beräkningsmodellen, består av händelser och grindar där grindarna antingen är OCH-grindar eller ELLER-grindar. Detta är i överensstämmelse med traditionell felträdsanalys. Däremot avviker händelserrepresentationen som i ett modifierat felträd är av två typer, felinducerade händelser och kontrollhändelser. De händelser som återfinns i botten av trädet, primära händelser, ska möjlighetsvärderas varvid kontrollhändelserna ska behandlas som beroende händelser. Möjlighetsvärdena

anges lingvistiskt och varje värde åtföljs av ett värde som anger graden av kunskap för detta åsatta värde. I beräkningen utvärderas sedan grindarna med $\hat{M}AX$ och med $\hat{M}IN$ operatorena. Eftersom beräkningarna lätt blir omfattande har ett datorprogram, FFTREE, utvecklats för beräkning av modifierade felträd. Slutligen ska resultaten av analysen utvärderas följt av en erfarenhetsåterföring med avsikten att sprida uppnådd kunskap och att underlätta efterföljande analyser.

Ett exempel ges för att exemplifiera och uttesta metoden. Detta exempel avser en riskanalys av en datorberäkning av en betongplatta. Denna beräkning utförs av en yngre konstruktör med hjälp av ett finit elementprogram. Analysen omfattar hela proceduren från bestämning av beräkningsmodell till och med presentation av de dimensionerande momenten i plattan.

Den inledande riskidentifikationen redovisas i form av FMEA-tabeller, se tabell 2.2, och det kompletta felträdet återfinns i FIG 4.3. Trädet består av 5 primära felinducerade händelser och av 8 primära kontrollhändelser vilka alla ska åsättas möjlighetsvärden. Dessa värden åsattes oberoende av varandra av tre erfarna ingenjörer, refererade som A, B och C.

För utvärderingen gjordes sex olika typer av beräkningar, till exempel för att möjliggöra en rangordning av de primära händelserna förutom själva beräkningen av möjlighetsvärdet för erhållandet av ett felaktigt moment. Av beräkningarna framkom det att A, B och C hade likartade värderingar och att händelsen "felaktig modell" bedömdes ha den största möjligheten att åstadkomma ett felaktigt moment.

Slutsatsen av exemplet var att: Riskindikation uppfyller ställda krav och är en metod att rekommendera för riskanalys av byggnadsindustriella system.

Riskrangordning är jämfört med riskindikation en mer approximativ metod och på en lägre informationsnivå. Avsikten med metoden är att jämföra olika alternativ sinsemellan och att för dessa identifiera olika riskfaktorer. Riskrangordning baseras på möjlighetsteorin och kräver endast att riskfaktorerna ska kunna

rangordnas, en rangordning som dessutom tillåts vara diffus. Detta innebär att metoden kan vara tillämpbar för situationer som ej tidigare varit åtkomliga för en sannolikhetsbaserad analys.

Metoden består av 6 olika steg:

- Riskidentifikation
- Modellbestämning
- Möjlighetsrangordning
- Osäkerhetsvärdering
- Beräkning
- Utvärdering

Riskidentifikation är till stora delar identisk med det inledande steget i en riskindikation men för en riskrangordning behöver bara beaktas de faktorer som skiljer emellan de system som ska rangordnas. Modellen består av ett antal utvalda händelser, utfall, som för varje delsystem rangordnas för sig. De som bedöms som möjligast bibehålls inför nästa överordnade delsystem och så vidare. Utfallen består av en felhändelse och en kontroll av att händelsen ej har inträffat. Dessa två olika typer möjlighetsrangordnas för sig följt av en parvis jämförelse för att erhålla en slutlig rangordning för aktuellt delsystem. Rangordningen avser först en strikt rangordning av utfallen, till exempel att utfall b bedöms som möjligare än utfall a ($\Pi(b) > \Pi(a)$). En anpassning till aktuellt informationsinnehåll görs sedan via en osäkerhetsvärdering. Dels anges, lingvistiskt, huruvida man är säker på den parvisa rangordningen, till exempel att man är "ganska säker på att $\Pi(a) < \Pi(b)$ ". Dessutom anges för varje utfall graden av kunskap för detta utfall, till exempel om kunskapen om utfall b är relativt begränsad anges detta med graden av kunskap för utfall b som "osäker". Osäkerhetsvärderingen innebär att den strikta rangordningen övergår i en diffus rangordning.

Beräkningen startar med en beräkning av den diffusa rangordningen för varje utfall med beaktande av både felhändelse och kontroll av felhändelsen. Därefter beräknas den totala effekten för varje alternativ med respektive tilldelade utfall. Detta utvärderas företrädesvis med MAX-operatorm, alternativt kompletterad med den utvidgade summan, \oplus -operatorm. För \oplus gäller dock

att resultatet kan vara inkonsekvent, det vill säga att värdet kan variera med val av utfall och antal utfall. Inför nästa överordnade delsystem bibehålls de möjligaste utfallen och rangordningen fortsätter med en ny möjlighetsrangordning. Det bör påpekas att slutgiltigt val av alternativ sällan beror på enbart en riskrangordning utan även andra faktorer kan vara nog så betydande.

Som exempel på tillämpning av metoden ges en analys av ett likartat exempel som gavs för riskindikation, en beräkning av dimensionerande moment i en betongplatta. Två alternativ studeras, A som avser en datorberäkning och B som avser en manuell beräkning. För att begränsa analysen utvaldes enbart ett delsystem bestående av 6 händelser, 3 avseende alternativ A och 3 avseende alternativ B. Detta ger med beaktande av kontrollhändelser att 12 olika utfall rangordnades. Denna rangordning följdes av en osäkerhetsvärdering med en globalt stor angiven osäkerhet, speciellt avseende kontrollen av felhändelserna. Den efterföljande beräkningen gav vid handen att alternativen bedömdes som ungefär likvärdiga och med relativt diffus slutlig rangordning, se FIG 4.12 och FIG 4.13.

För bägge alternativen framgår att utfallen felaktig modell är de mest dominanta. Om man eftersträvar ett mindre diffust resultat kan det således vara värt att noggrannare studera dessa utfall vilket resulterar i nya osäkerhetsvärderingar. Detta uttestades på exemplet och resulterade i klart mindre diffust resultat och med alternativ A rangordnad som möjligare än alternativ B.

Metoden har vissa brister och slutsatsen blir att: Riskrangordning kan eventuellt vara ett användbart koncept för att via en enkel men strukturerad analys erhålla en jämförande uppskattning av den inbördes rangordningen mellan olika alternativ.

Det tredje och sista exemplet, sammanjämkning av subjektiva värderingar, är inte någon fristående metod för riskanalys, som var fallet med riskindikation och riskrangordning, utan mer en metodik som kan vara användbar för metoder inom beslutsteorin. Metodiken är ett alternativ till en metodik föreslagen av Elms. Den

principiella strukturen är densamma medan skillnaderna ligger i val av operatörer. För att belysa skillnaderna presenteras den nya ideen för samma användningsområde, bestämning av riskfaktor för jordbävningslast, som användes av Elms.

Elms föreslog att riskfaktorn skulle kunna bestämmas genom lingvistiska åsättanden av olika berörda parter. För en given konstruktion sker detta genom att först ange ett värde avseende en konstruktionens betydelse, som modelleras med diffusa mängder enligt FIG 3.9. För att ta hänsyn till vikten av varje åsättande föreslog Elms en modifieringsfunktion med hänsyn till signifikansen för den som har åsatt värdet. Olika personers värderingar kombineras sedan med den så kallade svaga operatören för snitt. Detta förfarande påvisas emellertid ha ett antal icke önskvärda egenskaper. Som alternativ föreslås istället att hänsyn till signifikans och kombinerings sker genom en viktad diffus medelvärdesbildning och det påvisas också att detta förfarande ger konsekventa resultat. Förfarandet kan expanderas till att beakta olika faser, till exempel utbrottsfasen eller återuppbyggnadsfasen efter en jordbävning, och att beakta graden av kunskap för de olika personernas åsättanden.

Några exempel ges för att belysa metodiken. Som en jämförelse redovisas även de resultat som erhålles med Elms metodik. Resultaten blir snarlika, vilket är naturligt eftersom Elms har påvisat att hans metodik ger rimliga svar. Däremot ger Elms metodik inkonsekventa och svårförklarade resultat om parametrarna varierar något. Följaktligen dras den slutsatsen att metodiken med en diffus viktad medelvärdesbildning är att föredra.

Samma principiella metodik kan tillämpas på andra problem och för andra användningsområden. I och med att man börjar att beakta subjektiv lingvistisk information uppkommer ett behov att kunna sammanjämka olika värderingar, till exempel att sammanjämka olika experters utlåtanden.

Som en sammanfattande slutsats konstateras att: En viktad diffus medelvärdesbildning ger konsekventa resultat och kan rekommenderas för en sammanjämkning av lingvistiska värderingar eller åsättanden.

Dessa 3 nya metoder avser olika speciella applikationer och skulle enkelt kunna flerfaldigas. Som identifierats är också insatserna inom byggnadsindustrin rörande diffusa mängder exponentiellt växande. Detta eftersom allt fler inser behovet av en teori avsedd att möjliggöra en behandling av humanistiska system.

En slutsats blir att teorin om diffusa mängder bör vara användbar för byggnadsindustriella tillämpningar inom riskanalysen. Diffusa mängder är inget undermedel men teorin kan vara användbar för situationer med begränsad och subjektiv information. Detta eftersom teorin, i kontrast till sannolikheteeteorin, inte har några stränga krav på repeterbarhet eller på oberoende händelser. Resultaten kan dock inte bli lika formellt entydiga.

Slutsummering: Metoder för riskanalys och beslutsfattande som baseras på teorin om diffusa mängder, och på möjlighetsteorin, fyller ett befintligt behov och kommer att fortsätta att utvecklas i rask takt.

1 INTRODUKTION

Risikanalys och metoder för beslutsfattande är ännu relativt okända begrepp inom byggnadsindustrin. Visserligen har intresset ökat markant under den senaste 10-årsperioden både vad gäller forskning såväl som praktisk tillämpning. Om man jämför med andra industrigrenar såsom kärnkrafts- och flygindustrin så återstår dock en hel del innan man har uppnått det självklara målet att det i varje projekt ingår ett delprojekt som behandlar risker, säkerhet och kvalitet.

I takt med tiden blir byggprojekten allt mer komplexa och oftast med många olika inblandade parter. Till detta kan tilläggas ansträngda tids- och kostnadsramar. Detta tillsammans med den ständigt ökande tekniska komplexiteten innebär att ett kvalitets och säkerhetstänkande allt mer måste uppmärksammas.

Fortfarande är dock användningen av ett systematiskt säkerhetstänkande i sin linda och erfarenheterna av användning är relativt begränsad. Dessutom är byggnadsindustrin artskild från andra industrigrenar rörande ett flertal väsentliga aspekter. Detta innebär att traditionella metoder hämtade från dessa industrigrenar inte direkt är tillämpbara.

Som kanske redan har noterats så koncentreras föreliggande rapport främst på konsultens roll i byggprojekteringen eller, ännu mer koncentrerat, på beräkningsprocessen i projekteringen. Motivet för detta är att söka i författarens erfarenhetsområde och inte i att metoderna endast skulle vara tillämpbara inom denna del av byggnadsindustrin. Tvärtom har ett säkerhetstänkande baserat på diffusa mängder applicerats inom alla delar av en väg- och vattenbyggares ämnesområden.

Givetvis blir metoderna och dess applikationer inte identiskt lika för alla aktiviteter som ingår i byggprocessen. Det är dock en förhoppning att föreliggande rapport ska vara konceptuellt tillämpbar för en väsentligt vidare krets än enbart dem som representerar den strukturmekaniska beräkningsprocessen.

Av de väsentligaste faktorerna som skiljer byggprojekteringsarbete från andra industrigrenar, till exempel unika "produkter" - mer om detta nedan -, så är dessa gemensamma för hela byggnadsindustrin. Detta innebär att grundförutsättningarna för framtagandet av nya metoder och arbetssätt, vad gäller riskanalys, är gemensamma för hela byggnadsindustrin.

Rapporten koncentreras på metoder som baseras på teorin om diffusa mängder (fuzzy sets). Denna teori, som uppstod under mitten av 60-talet, kan ses som ett alternativ till sannolikheteeteorin, speciellt vad gäller den "subjektiva" sannolikheteeteorin (Bayesiansk teori). Trots att intresset och uppmärksamheten kring diffusa mängder ständigt har ökat, och ökar, så är diffusa mängder fortfarande ett relativt okänt begrepp.

Teorin om diffusa mängder, men även möjlighetsteorin som är närbesläktad, är avsedd att vara tillämpbar för situationer med begränsad information. Denna information tillåts vara av subjektiv natur. Detta innebär att användandet av de metoder som baseras på diffusa mängder inte producerar några absoluta resultat i strikt vetenskaplig mening. Detta är heller ej avsikten utan man strävar efter att producera resultat som identifierar känsliga områden och som ger en approximativ bild av systemet som har analyserats.

Teorierna i sig är relativt lättförståeliga om än med många nya begrepp, som därmed är obekanta. Givetvis kan den bakomliggande matematiken upplevas som abstrakt och svårförståelig, men detta gäller nog för alla metoder som står på en sund vetenskaplig grund.

Vad som däremot är viktigt är att metoderna och metodiken vid praktisk tillämpning inte innebär några konceptuella begränsningar som kan vara svåra att acceptera för den praktiskt verkssamma projektören. Emellertid så anser författaren att det kommer att vara lättare att få byggkonsulter att acceptera metoder som baseras på diffusa mängder jämfört med sannolikhetsbaserade metoder. Resultat som är diffusa och som dessutom kan uppfattas som subjektiva är ingenting som den praktiskt verkssamme konsulten upplever som anmärkningsvärt eller tvivelaktigt. Tvärtom,

approximationer och "diffusa" modeller av verkligheten är något som projektören hela tiden använder sig utav. Dessutom är man väl medveten om alla begränsningar som alltför teoretiska modeller innebär.

Däremot kan det vara svårare att övertyga forskare och ingenjörer som har sin förankring i sannolikhetsbaserade metoder. Detta eftersom metoder som baseras på diffusa mängder har en "svagare struktur" och därmed aldrig kan producera lika "exakta" resultat som sannolikhetsbaserade metoder kan. Exakta resultat förutsätter dock att modellen och alla dess parametrar är kända. Om informationen är begränsad så kan det nog som regel vara bättre att producera ett resultat som ger en ungefärlig uppfattning istället för ett skenbart exakt resultat, som därmed kan vara vilseledande.

Den debatt om diffusa mängder kontra sannolikheter som tidigare har förts har dock ebbat ut betydligt och idag är de flesta överens om att bägge grundbegreppen har sitt berättigande. Dessutom förhåller det sig så att metoder baserade på dessa teorier till största delen har olika lämpliga applikationsområden. Givetvis finns det gränfall där bägge teorierna kan vara applicerbara. Då är det viktigt vid en resultatutvärdering att komma ihåg vilken teori som har använts.

Mer teoretiskt kan man klassificera det som att metoder baserade på diffusa mängder ger en ordnad struktur medan sannolikhetsbaserade metoder ger en bestämd struktur med inbördes bestämda avstånd. En sådan bestämd struktur, modell, kan givetvis inte ställas upp med en större noggrannhet än informationsmängden medger.

I kapitel 3 skall en beskrivning av teorin bakom diffusa mängder ges. Dessutom ska möjlighetsteorin beskrivas. Beskrivningen är inriktad på att skapa en förståelse för dessa nya begrepp. Den är inte avsedd att ge en strikt matematisk beskrivning ej heller är den avsedd att instruera läsaren om hur man formulerar modeller baserade på de nya teorierna. För den intresserade läsaren hänvisas istället till speciallitteraturen inom området. Allmänna beskrivningar återfinns till exempel i Blockley, 1980, och i

Beskrivningen av diffusa mängder i föreliggande rapport är således avsedd att underlätta förståelsen av de exempel på metoder som ska ges. Den är också avsedd att ge läsaren en möjlighet att bedöma potentialen hos dessa och andra metoder som baseras på teorin om diffusa mängder eller på möjlighetsteorin.

För att en sådan beskrivning ska bli komplett inleds med en kort översikt av situationen idag, både vad gäller traditionell riskanalys och beslutsfattande såväl som dess applikationer inom byggnadsindustrin. Dessutom görs ett försök till en motivering av ett ökat systematiskt säkerhetstänkande.

Därefter diskuteras behovet, och inriktningen, av nya metoder för riskanalys och beslutsfattande inom byggnadsindustrin. Eftersom dessa, enligt författarens åsikt, med fördel kan baseras på teorin om diffusa mängder, följer en kort beskrivning av teorin om diffusa mängder. Speciellt intresse riktas på det praktiska användandet av denna teori.

Med detta som grund ges en översikt över teorins användningar både vad gäller områden och vad gäller metoder. Denna översikt är dock inte avsedd att vara komplett eller att ge ett rättvist urval av alla de metoder som har föreslagits. Istället är avsikten att ge en indikation på den utveckling som pågår inom detta område.

Slutligen ges tre exempel på metoder baserade på teorin om diffusa mängder. Dessa exempel har tidigare publicerats i forskningsrapporter från Institutionen för Brobyggnad, KTH. Rapporternas huvudsyfte har varit att ge en teoretisk beskrivning av nya idéer. Här ska dock inriktningen vara att ge exempel på användningen av nya metoder för riskanalys och beslutsfattande. Det förtjänar även att påpekas att ett flertal andra metoder inom samma ämnesområde, även för byggnadsindustrin, har rapporterats världen över. Vissa av dessa kommer också att få ett kort omnämnande i avsnittet 3.4, Applikationer.

2 RISKANALYS, EN ÖVERSIKT

Risikanalys har hitintills mestadels använts inom industrier med hög teknisk komplexitet jämte högt ställda säkerhetskrav, till exempel inom kärnkraftsindustrin. För att söka identifiera metoder som är applicerbara inom byggnadsindustrin är det därför logiskt att studera den metodik och de metoder som idag används inom dessa industrier samt att analysera skillnaderna mellan dessa industriapplikationer och de förhållanden som är rådande inom byggnadsindustrin. Först därefter bör man börja med arbetet att ta fram nya metoder, eller alternativt att anpassa befintliga metoder, för användning inom olika områden av byggnadsindustrin.

Följaktligen är detta kapitel avsett att ge en kort inblick i "traditionell" risikanalys följt av en mer genomträngande analys av byggnadsindustrins speciella särart vad gäller risikanalys.

2.1 Traditionella metoder

En komplett och heltäckande översikt över alla de metoder som idag används för risikanalys låter sig inte göra inom ramen av ett kapitel. Dessutom har författaren inte den erfarenhet och den vida kunskap som skulle krävas för att ge en sådan översikt. Följaktligen, nedanstående översikt präglas starkt av författarens erfarenhetsområde men även av möjligheterna till en koppling, användning, av metodiken för byggnadsindustriella tillämpningar.

Därför uppmuntras läsaren att själv studera andra metoder och användningar för att finna lämpliga tillämpningar inom byggnadsindustrin. Dock gäller det att hela tiden vara varse de förutsättningar och teorier som råder och att ställa sig frågan om dessa är generellt giltiga eller, alternativt, under vilka förhållanden de är giltiga.

Med risikanalys avses i denna rapport en analys av ett system med avsikt att bestämma systemets svaga punkter eller delsystem.

Dessa kommer att benämnas systemets svaga länkar i analogi med att en kedja inte är starkare än sin svagaste länk. Dessa svaga länkar är så beskaffade att de kan medföra att systemet inte fungerar som planerat. En uppskattning av storleken, till exempel möjligheten eller sannolikheten, på det som gör att systemet inte fungerar, funktionsfel (failure), ingår också i en riskanalys. Därvid ska noteras att endast de funktionsfel som resulterar stor skada på systemet beaktas.

Av ovanstående begreppsförklaring framgår att, beroende på noggrannhetskrav på storleken på funktionsfelen, innefattar begreppet riskanalys metoder som endast ger en lingvistisk uppfattning, som till exempel "möjligheten för funktionsfel bedöms som väsentligt större för metod A än för metod B", såväl som komplexa metoder som uttrycker funktionsfelen numeriskt och noggrant, till exempel "sannolikheten för funktionsfel C är 1% +0,2%".

Det är, bland annat, noggrannhetskravet som utgör en viktig ingrediens vid val av metod. Olika industrier har också olika noggrannhetskrav, som kan vara beroende av funktionsfelens skadeinverkan, konsekvens. Detta är en av orsakerna till att det delvis har använts olika metoder inom olika industrigrenar. Till exempel har flygindustrin använt sig av komplexare och mer förfinade metoder än bilindustrin.

Häremot kan invändas att biltrafiken kräver betydligt fler människoliv än flygtrafiken och följaktligen också borde ha högre ställda säkerhetskrav. Det är emellertid så att "skadan" vanligtvis inte enkelt kan mätas, till exempel i antal trafikoffer, utan den är beroende av ett flertal faktorer som till exempel den totala skadestorleken vid ett skadetillfälle, den enskildes upplevelse av kontroll av situationen och den massmediala uppmärksamheten vid en skada. För nog är det väl så att vi anser det naturligt att flygindustrin har större säkerhetskrav än bilindustrin. Detta är dock något perifert för denna rapport, om än intressant, och för en diskussion om detta hänvisas istället vidare till Hovden, 1979.

Risicanalys är nära kopplat till kvalitetssäkring och kvalitetskontroll, mer populärt kallat QA/QC (Quality Assurance / Quality Control). Detta är emellertid ett vidare begrepp som dessutom inte primärt har till ändamål att bedöma storleken på funktionsfelen, se även diskussionen nedan i avsnitt 2.2. Den primära avsikten är att med QA/QC se till att en produkt uppfyller ställda kvalitetskrav. Detta inkluderar säkerhetskrav, till exempel att tillförlitligheten uppfyller normkrav och kan anses betryggande, men det inkluderar även andra faktorer utöver säkerhetskrav, till exempel krav på prestanda eller i byggnadssammanhang krav på ytfinish. Gemensamt för QA/QC och risicanalys gäller att verksamheten bör utföras av personal som ej aktivt medverkar i produktionen och att genom en systematisk och planerad verksamhet i ett så tidigt stadium som möjligt identifiera "felkällor" och faktorer som kan initiera oönskade händelser.

Beslutsteori baserad på expertsystem har också mycket gemensamt med risicanalys och vilar ofta, liksom risicanalys, på sannolikhetsteoretiska grunder. Expertsystem är dock ett vidare begrepp och en skillnad är att expertsystemen inte har någon primär avsikt att bedöma storleken på funktionsfelen. Dessutom innefattas även andra delar än de som enbart berör systemets tillförlitlighet. Detta diskuteras vidare i avsnitt 3.4.

En risicanalys är primärt inriktad på systemets tillförlitlighetstekniska egenskaper men det har ofta visat sig att en väl genomförd analys även ger en systematisk och väl strukturerad bild av det system som har analyserats. Detta har delvis sin orsak i att en risicanalys utförs av specialister på risicanalys som har stor vana i att analysera och att beskriva olika system, men som även ser systemet objektivt eftersom de oftast inte är ansvariga för systemet, eller på något annat sätt bundna till detta. Dessutom kan det ofta vara så att någon egentlig systembeskrivning inte existerar.

En risicanalys utförs vanligen i två steg. Det första steget är en kvalitativ analys där avsikten är att skaffa sig information om systemet och att bygga upp en tillförlitlighetsteknisk modell av detta. Detta innebär att ta reda på möjliga felkällor och funktionsfel samt analysera de möjligheter till feldetektion som

vidlåder systemet. Dessutom så bör ingå en analys av möjliga beroende fel (common cause failures), det vill säga fel som initieras av samma källa. Dyliga fel, som kan utgöra kritiska felkällor, har dock stundtals försumrats.

Baserad på den kvalitativa analysen utförs det andra steget, den kvantitativa analysen. Denna använder sig av den modell som byggts upp i den kvalitativa analysen och på tillförlitlighetsdata hos enstaka delar, komponenter. Dessa data kan vara allt ifrån väl dokumenterat statistiskt material till subjektiva bedömningar gjorda av den som utför analysen. Den kvantitativa analysen baseras så gott som alltid på sannolikhetsteoretiska idéer. Detta är dock inget nödvändigt krav, jämför metoden som beskrivs i avsnitt 4.1.

Resultatet av en riskanalys presenteras ofta endast som ett tal som sägs representera systemets tillförlitlighet. Detta är olyckligt eftersom detta tal hänförs till den kvantitativa delen av analysen, medan den största arbetsinsatsen oftast hänförs till den kvalitativa delen. Dessutom säger ett enstaka tal inget om de förutsättningar, antaganden och begränsningar som har varit rådande för analysen. Följaktligen så har kritik ibland framförts mot riskanalys i allmänhet som sägs representera en vetenskap som producerar fantasisiffror, 10^{-9} !, blandat med ett kvalitativt gissande. Detta understryks genom att en analys på samma system, utförd av någon annan, kan redovisa siffror av en helt annan storleksordning.

Denna kritik är dock orättvis, om än förståelig, då en väl utförd riskanalys förutom att producera tillförlitlighetsuppskattningar även kan medföra att systemet har förändrats genom att svaga länkar har identifierats och att systemet därefter har modifierats.

Vad man alltid måste komma ihåg är att presenterat resultat alltid är baserat på mer eller mindre säkra uppskattningar. Bland felkällorna kan nämnas osäkerheter rörande tillförlitlighetsdata och att mänskliga felkällor eller yttre påverkan (till exempel brand eller jordbävning) kan ha försumrats. Ibland kan det följaktligen vara en god ide att endast utföra en kvalitativ

analys och inte presentera osäkra, och eventuellt missvisande, tillförlitlighetssiffror. Detta beror givetvis på ändamålet med analysen.

Att man har slarvat med redovisningarna av de kvantitativa riskuppskattningarna framgår av ett citat, i fri översättning, från en av de främsta förespråkarna för sannolikhetsteoretiska modeller (Ditlevsen, 1984) "det är meningslöst att isolerat från den bakomliggande modellen publicera mycket låga sannolikhetssiffror. Det enda det kan tjäna till är att manipulera den allmänna opinionen."

Hur man istället bör redovisa resultaten av utförda riskanalyser för att dessa inte ska vara vilseledande är inte helt klargjort. Dock måste alltid framhåvas vad resultaten avser och vilken osäkerhet som råder för de sifferresultat som redovisas.

En intressant idé om hur resultaten kan redovisas har föreslagits av Funtowicz och Ravetz, 1984, som de benämner N:U:S:A:P. Kortfattat kan det beskrivas som att ett resultat presenteras som ett tal (Numeral) i en viss enhet (Unit) följt av den spridning (Spread) och den säkerhetsuppskattning (Assessment) som råder. Slutligen ska också talets härkomst (Pedigree) beskrivas. Detta anges med tre siffror som vardera representerar vad den teoretiska modellen baseras på, hur indata har bestämts och på modellens sociala status, se Tabell 2.1. Med modellens sociala status avses om modellen är allmänt accepterad eller om den är mer eller mindre diskutabel och omdebatterad.

Som ett exempel anger de en uppskattning av ett framtida oljepris som $6:\$83:f2:80\%:(3,4,3)$. Detta utläses som \$6 i 1983-års priser med en spridningsfaktor på 2 och med 80% säkerhet. Beräkningsmodellen bygger på en teoretisk modell med flera förenklade antaganden och med data som baseras på subjektiva uppskattningar blandade med data från tidigare undersökningar. Modellen är relativt allmänt accepterad även om vissa förutsättningsgiltighet kan diskuteras.

Tabell 2.1 Definition av härkomst i N:U:S:A:P

Element	Teoretisk	Indata	Social
1	Väl testade teorier	Experimentella data*	Samstämmighet
2	Kompleta teorier	Historiska data	Enighet
3	Begränsade teorier och modeller	Sammanställda data	Delvis oenighet
4	Begränsade teorier utan modeller	Delvis sammanställda data	Delvis enighet
5	Modeller	Kvalificerade gissningar	Oenighet
6	Definitioner	Okvalificerade gissningar	Ingen åsikt

Tanken är att man på detta sätt ska kunna ge en kompakt, men ändå strukturerad och relevant, beskrivning av det kvantitativa resultatet av en analys. Dessutom är det en förhoppning att missuppfattningar och avsiktliga feltolkningar ska kunna reduceras. Vidare bör man på detta sett kunna skilja på meningsfulla och på mer eller mindre tveksamma kvantitativa resultat.

Hur resultatet ska presenteras är givetvis också beroende på den metod med tillhörande modell som har använts. Det finns ett stort utbud av metoder, av vilka vissa kommer att kort beskrivas nedan, men metoderna kan oftast klassificeras som antingen induktiva eller som deduktiva metoder.

I en induktiv analys förutsätter man att ett fel har inträffat för någon komponent, eller delsystem, och försöker därefter att bestämma vilken effekt detta får på det totala systemet.

I en deduktiv analys förutsätter man att systemet har erhållit ett visst funktionsfel och försöker därefter att bestämma vad som kan ha medfört att detta funktionsfel har inträffat.

Induktiva metoder används således för att bestämma vilka funktionsfel för systemet som är möjliga medan deduktiva metoder används för att bestämma hur ett givet funktionsfel kan inträffa. Ett renodlat exempel på en deduktiv metod är felträdsanalys medan till exempel felmods och effektanalys är ett exempel på en induktiv metod.

Detta avser främst den kvalitativa delen av en analys men även den kvantitativa delen kan skilja sig åt avsevärt beroende på vilka förutsättningar och förenklingar som gäller vid utvärderingen av den kvalitativa modellen.

För enkla modeller kan det inträffa att feldata för komponenterna är så väl kända att modellen kan utvärderas helt och hållet enligt sannolikhetsteorin. Detta innebär en analytisk lösning med kända sannolikhetsfunktioner. En sådan modell, som kan vara skapad med antingen induktiv eller med deduktiv teknik, är dock sällsynt i praktiken och representerar ett tekniskt sett okomplicerat eller förenklat system.

Vanligtvis är dock systemen mer komplexa och/eller behäftade med osäkra feldata för komponenterna. Detta innebär att resultaten blir så osäkra att den arbetsinsats som en analytisk beräkning medför inte kan motiveras.

Närmast till hands ligger då att tillgripa någon form av simulerings teknik. Detta innebär att man, vanligtvis, fortfarande arbetar med de fullständiga sannolikhetsfunktionerna men istället för att försöka finna en analytisk lösning approximerar man resultatet med resultaten från ett stort antal slumpvis utförda försök. Med ett tillräckligt stort antal försök, som vanligtvis överstiger 1000 st, ger detta en god och noggrann bild av systemet. Detta kräver givetvis datorberäkningar men det finns trots detta olika tekniker för att reducera antalet nödvändiga försök, simuleringar. Simuleringsmetodiken brukar gå under benämningen Monte Carlo-teknik.

Vanligtvis är dock även simulerings tekniken för avancerad för att tillämpas på praktiska, och därmed ofta komplicerade, system. Detta beror främst på den begränsade kunskapen, informatio-

nen, om feldata för komponenterna men det kan också bero på komplexiteten hos kvalitativa modellen av systemet. Vad gäller feldata får man ofta vara nöjd med om man har en tillräckligt hög noggrannhetsuppskattning på medelvärdet av ett funktionsfel medan standardavvikelsen, och givetvis själva sannolikhetsfunktionen, får accepteras vara mer eller mindre okänd.

Det finns flera metoder som enbart använder sig av medelvärdet, eller av någon percentil. För att ta reda på spridningen, eller alternativt uttryckt känsligheten hos systemet, så kan en störningsanalys utföras där man ansätter andra värden för några av funktionsfelen för komponenterna. Även om metoderna använder sig av medelvärden så är det en viss spridning i osäkerheten av resultaten. Detta beror till största delen på noggrannheten och förfiningen av den kvalitativa modellen.

En av den mest utvecklade och använda metoden är felträdsanalys. I en felträdsanalys förutsätter man att ett funktionsfel, en topphändelse, har inträffat och försöker att ta reda på vilka primära händelser som har medfört att topphändelsen har inträffat. Med primära händelser avses händelser som befinner sig i "botten av trädet" och som utgör starthändelser vid en kvantitativ utvärdering av felträdet. Mellan de primära händelserna och topphändelsen finns ett antal mellanliggande händelser som är kopplade till andra händelser med grindar. De grindar som är av betydelse är antingen OCH-grindar eller ELLER-grindar. Med dessa avses att antingen så inträffar händelsen endast om alla till grinden kopplade händelser har inträffat (OCH-grind) eller så inträffar händelsen om minst en händelse har inträffat (ELLER-grind), se FIG 2.1.

Vid den kvantitativa utvärderingen av ett felträd förutsätts, indirekt, att funktionsfelen är exponentialfördelade, det vill säga med konstant felsannolikhet över tiden. Eftersom antalet händelser vanligtvis är mycket stort, över 1000 händelser är inte ovanligt, så finns det ett antal datorprogram för utvärderingen av sannolikheten för topphändelsen.

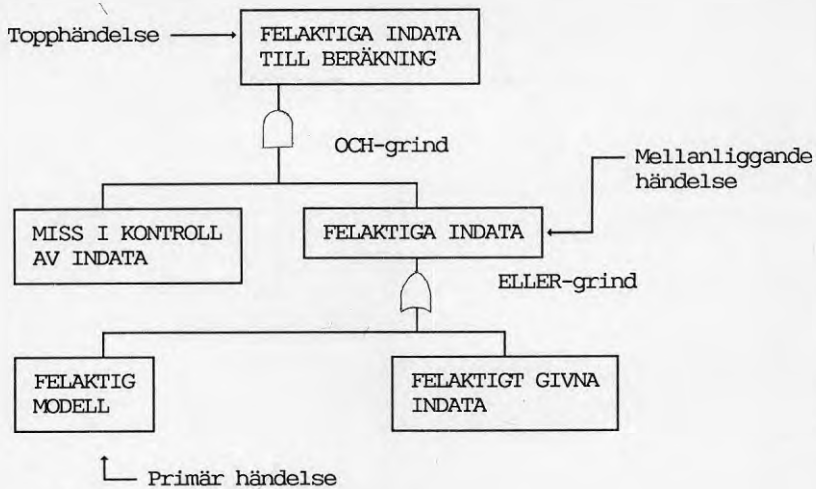


FIG 2.1 Enkelt felträdd

Om man när man konstruerar sin modell istället för att utgå ifrån topphändelsen utgår ifrån de primära händelserna så erhåller man ett träd skapat med induktiv teknik, ett så kallat händelsetråd. Händelsetråd är också relativt vanligt förekommande om än alls inte i den omfattning som gäller för felträdd.

I ett händelsetråd talar man om olika stadier, ett fungerande eller ett felaktigt stadium, för de olika komponenterna och delsystemen. Man börjar med en starthändelse för en komponent som medför att det minsta delsystemet som komponenten ingår i antingen fungerar eller felfungerar. Detta delsystem ingår i sin tur i ett större delsystem, och så vidare, se FIG 2.2. Detta medför att trädet snabbt växer och med ett antal starthändelser så måste vid en kvantitativ utvärdering trädet först reduceras på grenar som kan försummas innan själva beräkningen startas.

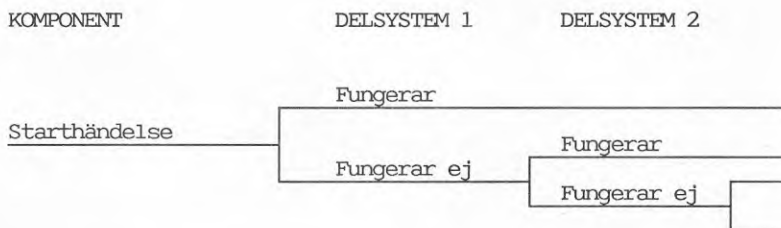


FIG 2.2 Principiellt händelseträd

Beslutsträd är besläktad med händelseträd men följd effekterna av en händelse kan i ett beslutsträd påverkas av beslutsfattaren medan dessa i ett händelseträd är mer bestämda. Dessutom innefattas i ett beslutsträd oftast kostnader medan händelseträd behandlar sannolikheter för systemets funktionsfel.

Det finns ytterligare ett antal metoder som bygger på induktiv teknik. Många av dessa är mer förenklade, speciellt vad avser den kvantitativa utvärderingen. Vanligast av dessa är nog felmoder och effektanalys (FMEA).

FMEA som främst inriktas på den kvalitativa delen av en riskanalys innebär att man komponent för komponent identifierar möjliga felkällor, felmoder, och dessas effekt på det totala systemet.

Som grund för arbetet används en tabell, ett formulär, till exempel som i Tabell 2.2. Dessa tabeller, som kan se lite olika ut beroende på vad som analyserats, innehåller bland annat kolumner för aktuell komponent, felmod, och för systemets respons.

Tabell 2.2 Exempel på en FMEA-tabell

Steg	Felmod	Felupptäkt	Åtgärd för reduktion av fel frekvens	Fel- effekt	Kommentarer
Indata	Felaktig geometri	Via geometriplott och kontroll av indatalista	Geometriplott	Vari- erande	De flesta fel ger upphov till omöjliga resultat
	Felaktigt elementnät	""	Plottbild av elementindelning	""	""
	Felaktiga materialdata	Kontroll av indatalista		""	
	Felaktiga randvillkor	Kontroll av indatalista och utdata	Plottbild av randvillkor	Asymmetriska resultat	Kan vara svårupptäckt eftersom felen kan vara lokala
	Felaktig belastning	Kontroll av indatalista och kontroll av summalast	Utskrift av summalast	Vari- erande	
	Felaktig uppstart av program	Inga resultat	Vana med programmet	Inga resultat	Kan ge upphov till stress-situation
	Körning med gamla felaktiga indata	Kontroll av indatalista		Vari- erande	

En FMEA kan också utvärderas kvantitativt men lika vanligt är att man använder denna som grund för någon annan metod. Som exempel kan nämnas funktions block scheman, se FIG 2.3, men även felträdsanalys, jämför avsnitt 4.1.

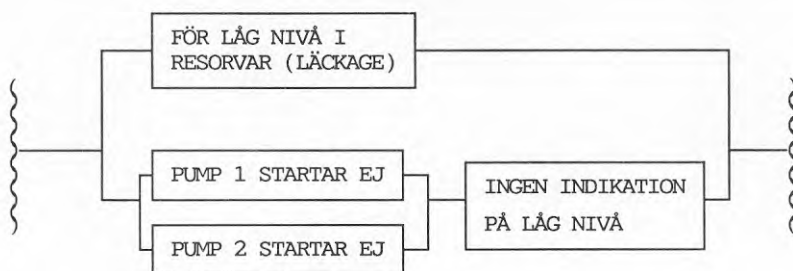


FIG 2.3 Enkelt funktionsblockschema

Funktionsblockscheman används inte bara för att beräkna sannolikheten för ett funktionsfel utan främst för att beräkna systemets tillgänglighet, det vill säga hur stor del av den totala tiden som systemet är i funktionsdugligt skick. Detta innebär att förutom data för felsannolikheterna så behövs ytterligare data såsom genomsnittliga underhålls- och reparationstider.

I sådana sammanhang används även så kallade Markov modeller. I dessa har komponenterna olika tillstånd, till exempel i operation eller under reparation. En utvärdering kan bli rätt omfattande vilket, för komplexa modeller med stor inbyggd osäkerhet, kan medföra att onödigt stora insatser läggs ner på den kvantitativa utvärderingen.

Istället bör insatserna för sådana system koncentreras på den kvalitativa modellen. Det finns flera andra metoder som kan användas för detta. Gemensamt för dessa är att man förutsätter begränsade resurser för riskanalysen och/eller osäkra data för komponenternas funktionsfel. Detta innebär givetvis också att man accepterar att en eventuell kvantitativ utvärdering är behäftad med relativt stor osäkerhet.

Som ett exempel på en sådan metod kan nämnas hazop (hazard and operability study). Denna metod är en av de mest populära och använda metoden inom processindustrin. Kortfattat går den ut på att man delar in konstruktionen som ska analyseras i "volym" och man åsätter sedan olika avvikelser för dessa volymer. Avvikelseerna bestäms med ledning av ett antal standardfraser av typen "för hög", "för låg", "inget", "motriktad". En volym kan

till exempel vara ett tryckkärl och man bestämmer sålunda vad som blir effekten om "temperaturen blir för hög" eller om "trycket blir för lågt".

Hazop utförs vanligtvis inom en grupp där representanter finns för de olika konstruktionsdelarna men där det även finns representanter för uppdragsgivaren och minst en oberoende erfaren konstruktör. Håstrup, 1984, nämner att hazop används i ungefär 50% av alla undersökta företag inom processindustrin. Trots denna relativt höga siffra rekommenderar han ett utökat användande av hazop. Detta motiveras av att av drygt 200 undersökta konstruktionsmissar skulle cirka 60% av dem ha upptäckts med användande av hazop, som därmed identifieras som den mest effektiva enskilda metoden. Om man dessutom skulle medräkna inspektion, kontroll, på plats och en metod som benämns "action error analysis" skulle man enligt Håstrup ha upptäckt ända upp till cirka 85% av alla konstruktionsmissar.

För de förenklade modellerna för riskanalys, typ hazop, är huvudintresset att försöka identifiera möjliga felkällor och funktionsfel. En kvantitativ utvärdering blir då givetvis mycket approximativ och frågan är om en sådan överhuvudtaget bör utföras. Ibland utförs denna genom att sannolikheterna för varje komponents funktionsfel helt enkelt adderas. En sådan beräkning medför givetvis en överskattning av den totala sannolikheten, och beräkningen kan ofta upplevas som alltför konservativ.

Det finns givetvis fler metoder, eller varianter av dessa, än de som har omnämnts ovan. Detta gäller speciellt metoder som är specialanpassade för en viss typ av industri. För det är ju så att det inte bara är byggnadsindustrin som är unik utan varje industri har sin särart och sina egenheter. Dock gäller det nog att byggnadsindustrin avviker mer från genomsnittet än vad de flesta övriga industrier gör. Detta diskuteras vidare nedan, se avsnitt 2.2 och 2.3.

Förutom det faktum att olika industrier föredrar olika metoder så styrs valet av metod av ett flertal andra faktorer. Av dessa kan nämnas den tid och de resurser som tillåts att avsättas för en riskanalys och vilken målsättning man har med analysen. Till

exempel kan avsikten vara att internt försöka förbättra systemet och göra det mer tillförlitligt eller att för tredje part försöka påvisa att systemet har en tillförlitlighet som överskrider något specificerat gränsvärde.

De industrier som hitintills i största omfattning har använt sig av riskanalyser är kärnkraftsindustrin och rymd- och flygindustrin. Av andra industrier kan nämnas elektronikindustrin, den kemiska industrin och i allt mer ökande omfattning offshoreindustrin. Dessutom gäller att de flesta större projekt, oavsett industriotyp, analyseras noga vad avser risk och tillförlitlighet.

2.2 Riskanalys och byggnadsindustrin

Inom byggnadsindustrin har användandet av riskanalys hitintills varit rätt sparsamt. Detta har sin grund i flera orsaker av vilka kan nämnas byggnadsindustrins särart och den relativt ringa forskningsinsatsen som har berört riskanalys.

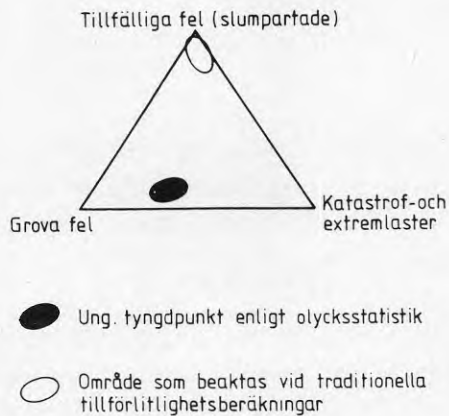
I avsnitt 2.3 kommer byggnadsindustrins särart att diskuteras närmare medan detta avsnitt ska täcka forskningen och den praktiska tillämpningen av säkerhets- och tillförlitlighetsanalys.

Forskningen om säkerhet och tillförlitlighet har, efter att före 70-talet ha fört en relativt tynande tillvaro, främst koncentrerats på att ta fram nya normer och bestämmelser som baseras på sannolikhetsteorin. Dessa nya normer baseras nästan uteslutande på partialkoefficienter även om flera forskare har förespråkat de så kallade beta-metoderna, även benämnda Nivå 2-metoder, som är på en högre teoretisk nivå och som baseras på medelvärden och standardavvikelser.

Generellt sett är beta-metoderna idag för komplicerade och kunskapen om medelvärden och standardavvikelser för små för att motivera ett införande av beta-metoder. Att bestämma lämpliga lastkombinationer kan redan idag innebära betydande svårigheter och att sedan bestämma standardavvikelser för dessa lär nog upplevas som ogenomförbart. Förutom de statistiska osäkerheterna så finns det ju i beräkningsmodellerna ett stort antal förenklingar

och antaganden. Detta innebär att införandet av beta-metoder endast skenbart skulle höja noggrannheten. Risken är istället att komplicerade normer kan införa grova fel grundade på missförstånd eller på missuppfattningar av normanvisningarna.

Dessutom är det allmänt bekant att för att minska antalet konstruktionsolyckor så bör man inrikta sig på de grova felen och att en förfining av normerna endast kan innebära en marginell förbättring. Detta kan åskådliggöras som i FIG 2.4, hämtad från Andersson, 1982. De tillfälliga felen och i viss mån även katastrof- och extremaster täcks in i normerna medan däremot de grova felen bäst motarbetas med utbildning och med en effektiv kontroll.



Figur 2.4 Skillnad mellan "verklig" och "beräknad" brottsannolikhet

Forskningsinsatserna på att undersöka de grova felen och att finna åtgärder för att motarbeta dessa har också ökat betydligt under de senaste åren. Insatserna på detta komplexa område har dock bara påbörjats och det lär nog dröja några år innan dessa har vidarebefordrats till praktisk tillämpning.

De totala insatserna rörande säkerhet och tillförlitlighet har också vidgats betydligt under de senaste åren både vad gäller forskning och vad gäller praktisk tillämpning. Detta gäller speciellt det ökande intresset för QA/QC, jämför avsnitt 2.1. Denna ökning beror på influenser från den närliggande offshore-verksamheten i Nordsjön i kombination med det alltmer växande intresset inom byggnadsindustrin för kvalitet. Huvudsyftet är, som tidigare nämdes, att försäkra sig om att uppställda kvalitetskrav uppnås. Dessa uppnås genom att man inte bara utför en slutbesiktning utan genom att under hela produktionsprocessen ha kvalitetsrevisioner och att granska gällande kontrollrutiner.

För att möta högt ställda krav på QA/QC krävs att man för dessa ändamål har speciellt avsatt personal och att det finns skriftliga instruktioner i form av en kvalitetssäkringshandbok. Personalen i produktionen ska vara medvetna om gällande krav men även att en kvalitetsrevision när som helst kan införas under pågående produktionsprocess.

Som en liten parentes kan nämnas att en indikation på att QA/QC nu på allvar är på väg in i byggprocessen är en tydligt markerad QC-bod vid Södra Station i Stockholm. En bod som ingen pendeltågsresenär kan missa (1986).

Även enkla former av riskanalys har börjat tillämpas allt mer frekvent. Detta gäller till exempel riskanalyser inom försäkringsindustrin. Inom detta område är brandriskerna speciellt väsentliga eftersom bränder och följd effekterna därav uppgår till en betydande del av de totala försäkringskostnaderna. Förutom brand behandlas åtskilliga andra riskfaktorer speciellt de allt mer aktualiserade riskerna med datorsystem och databehandling.

Förutom riskanalys ingår riskbehandling och riskfinansiering i det som i branschen benäms risk management. Med riskbehandling avses åtgärder för att försöka eliminera eller motverka riskerna. Riskfinansiering innebär att i avvägd omfattning gardera sig mot eventuella kvarstående riskfaktorer, med försäkringar där belopp och självrisk bestäms efter föregående riskanalys och

riskbehandling.

Baserad på ovanstående är det författarens förhoppning att om 70-talet var genombrottet för sannolikhetsbaserade normer så blir slutet av 80-talet genombrottet för riskanalysen och för ett brett säkerhetstänkande. Detta innebär givetvis även ökad utbildning på detta område såväl som ökade krav från beställare och myndigheter.

2.3 En diskussion om byggnadsindustrins speciella förutsättningar

Som framgick av föregående avsnitt så har användandet av riskanalys varit relativt begränsat inom byggnadsindustrin men att en ökning är att förutse. I detta avsnitt ska diskuteras de speciella förhållanden som råder inom byggnadsindustrin och dessa kommer att jämföras med vad som förutsätts i de metoder och den metodik som beskrevs i avsnitt 2.1, traditionella metoder. Med detta som grund avslutas med en diskussion om vad som går att överföra från den traditionellt använda metodiken och vad som bör modifieras.

En analytisk beräkning, med frekvensfunktioner, av tillförlitligheten för ett system förutsätter att komponenterna är massproducerade och med statistiskt väl dokumenterade funktionsfel. Dessa förutsättningar är sällan eller aldrig uppfyllda inom byggnadsindustrin där tvärtemot varje system, och de flesta delsystemen, oftast är mer eller mindre unika. Det finns visserligen system, till exempel gruppbebyggda småhus, som tillverkas i stora serier men de flesta systemen är helt unika, till exempel de flesta industrier och kontorshus. Dessutom så är inte heller gruppbebyggda småhus lika i alla avseenden, till exempel vad gäller undergrundens beskaffenhet.

Detta medför givetvis att det statistiska dataunderlaget är bristfälligt och att det är omöjligt att experimentellt bestämma de bakomliggande sannolikhetsfunktionerna. Visserligen kan man utföra laboratorieprov för vissa komponenter, till exempel för betongens kubbållfasthet, men dessa prov är inte direkt över-

förbara till det aktuella systemet, eller konstruktionen.

Ett begränsat statistiskt underlag kan även vara en följd av mycket låga sannolikheter för delsystemens funktionsfel, det vill säga man arbetar långt ute i frekvensfunktionernas svansar. Detta gäller ofta för byggsystemen där karakteristiska felsannolikheter ofta understiger till exempel 10^{-5} . Att ur försöksvärden försöka bestämma aktuell frekvensfunktion med tillhörande parametrar är därmed en vansklig procedur. Olika funktioner, som alla väl passar försöksdata, kan skilja sig 10-potenser åt ute i svansarna, det vill säga i det för byggnadsindustrin intressanta området.

Låga sannolikheter hänförs ofta till vad man i felträdsanalys brukar benämna passiva komponenter. En händelse i ett felträd kan bero på ett fel i en aktiv eller i en passiv komponent. En passiv komponent medverkar på ett statiskt sätt i systemets funktion. Detta kan vara en elektrisk ledning, eller i strukturmekaniska problem en balk. En aktiv komponent medverkar mer dynamiskt i systemets funktion, till exempel en ventil eller en strömbrytare.

Uppdelningen i aktiva och passiva komponenter är viktig i fråga om numerisk tillförlitlighet. Generellt sett har aktiva komponenter felsannolikheter med värden flera 10-potenser högre än vad som gäller för de passiva komponenterna. Följaktligen har de passiva komponenterna ofta försumrats i utförda analyser. Dessutom är kunskapen om de passiva komponenternas felsannolikheter inte alls så kända som för de mer studerade aktiva komponenterna.

Inom byggnadsindustrin är, olyckligtvis, "komponenterna" passiva komponenter. Detta medför att en felträdsanalys blir mer komplicerad och osäker i den kvantitativa utvärderingen än om aktiva komponenter dominerar, som i traditionell felträdsanalys. Detta kan vara en orsak till den relativt låga användningen av felträdsanalys inom byggnadsindustrin.

Dåligt statistiskt underlag gäller även för de så kallade grova felen, det vill säga vad som traditionellt betecknas som mänsk-

ligt felhandlande (human errors). I fortsättningen kommer dock termen grova fel att användas eftersom denna är allmänt förhärskande inom byggnadsindustrin.

Förutom begränsat statistiskt underlag så är det även en mycket stor spridning på de grova felen. Dessutom tillkommer det faktum att de grova felen ofta är relativt sparsamt studerade, och därmed mer eller mindre okända, plus, vad som redovisades i avsnitt 2.2, den mest signifikanta orsaken till funktionsfel hos systemen.

System som till största delen beror på mänskligt handlande kallas Humanistiska system till skillnad från de så kallade Mekaniska systemen. Som framgått av tidigare avsnitt så har riskanalys traditionellt inriktats på de mekaniska systemen, som för övrigt även är mer matematiskt lättbehandlade. Intresset för humanistiska system och för grova fel har dock ökat betydligt inom alla discipliner. För många discipliner är dock de grova felen inte lika dominerande som de är i de byggnadsindustriella systemen.

Byggnadsindustrin har, förutom de ovan nämnda, även andra specialiteter och särarter. Ytterligare några exempel, som även har uppenbara kopplingar till de ovan nämnda, ska ges.

Byggnadsindustrin präglas fortfarande av en stark hemmamarknad med en liten internationell konkurrens och med en relativt stor andel rent hantverk. Detta innebär att industrin ännu inte är så mekaniserad och fortfarande i förvånansvärt stor omfattning utnyttjar mänsklig muskelkraft. Detta och det faktum att en stor andel av arbetet sker utomhus, under bitvis dåliga väderförhållanden, medför givetvis en stor spridning på kvaliteten och dåligt statistiskt underlag för bedömningar av tillförlitligheten.

Även konstruktionsarbetet avviker från andra industrigrenar. Dimensioneringen sker mer "slaviskt" enligt normerna, oftast med enklare beräkningsmodeller och med mindre insatser än jämfört med till exempel tillverkningsindustrin. Detta innebär en alls icke försumbar osäkerhet rörande beräkningsmodellernas giltighet men också att dimensioneringen ofta är mycket konservativ. En

överdimensionering, av till exempel en betongplatta i ett bostadshus, är inte alls lika kritisk som den är för massproducerade komponenter som ofta måste optimeras, till exempel med avseende på viktsförhållanden.

Slutligen bör nämnas att de byggnadsindustriella systemen oftast innebär att det är en mängd olika parter inblandade. Förutom byggherren och brukarna så ingår, till exempel, konstruktörer och entreprenörer för de olika delsystemen såsom Bygg, El och VVS. Dessa anlitar dessutom ofta olika underentreprenörer. Detta innebär att tillförlitligheten hos systemen starkt beror av samspel mellan de olika inblandade parterna. Glapp måste undvikas och ansvarsförhållandena måste vara entydigt bestämda. Detta innebär att informationssystemen är mycket viktiga för byggnadsindustrin. Informationen måste optimeras så att endast den relevanta och nödvändiga informationen når ut till de olika parterna.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det som främst skiljer byggnadsindustrin åt från de industrier som använder de traditionella metoderna för riskanalys är att man inom byggnadsindustrin har en lägre informationsstruktur. Med detta avses att man har större osäkerheter rörande komponenternas felsannolikheter. Detta beror i sin tur på att de byggnadsindustriella systemen är humanistiska system jämfört med de mekaniska system som har använts i de traditionella analyserna.

Metoderna och metodiken som hitintills har använts inom byggnadsindustrin har följaktligen också varit approximativa metoder med en enkel och schematisk kvantitativ utvärdering.

Av detta kan man dra den slutsatsen att det främst är de kvantitativa uppskattningarna som behöver modifieras för att anpassa de traditionella metoderna till byggnadsindustrin. Ett exempel på hur detta kan göras visas i avsnitt 4.1 där ett så kallat modifierat felträd utvärderas med en teknik baserad på teorin om diffusa mängder, till skillnad från den gängse utvärderingen som är sannolikhetsbaserad. Som kommer att diskuteras längre fram ställer diffusa mängder ej så höga krav på den tillgängliga informationen, vilket är i samklang med slutsatserna ovan.

Hitintills har diskussionen koncentrerats på byggnadsindustrins speciella särart. Lika viktigt är att analysera de behov av, och motiv för, riskanalys som finns. Samtidigt kan det vara intressant att specificera vilken noggrannhet och omfattning som krävs av resultaten i en utförd riskanalys.

Vi kan därmed börja med att konstatera att det oftast inte finns något reellt motiv för noggranna sannolikhetsuppskattningar av systemens funktionsfel, till exempel för att visa att det analyserade systemet understiger något gränsvärde. Vad de kvantitativa uppskattningarna lämpligen används till är istället jämförelser mellan olika system. Detta kan, alternativt, också åstadkommas genom att man endast jämför de faktorer som skiljer sig åt mellan de system som jämförs, se till exempel metoden i avsnitt 4.2.

Dessutom kan riskanalyser med fördel användas till att identifiera systemens svaga länkar och att eventuellt undanröja dessa eller att försöka ha kontroll av dessa med väl avvägda kontrollpunkter. Om man tillämpar riskanalys samtidigt med utarbetandet av systemet kan man också identifiera systemets svaga länkar på ett tidigt stadium och därmed tjäna såväl tid som pengar. Som tidigare konstaterades så ger ju en utförd riskanalys, förutom en bedömning av systemets tillförlitlighet, även en god bild och genomgång av det aktuella systemet.

I och med detta har vi även kommit in på behovet av en kontroll-optimering. Kontroll och styrning är ju av nödvändighet och har också tillämpats i de byggnadsindustriella systemen. Dock är det nog så att vad som har kontrollerats och när kontrollen har utförts har baserats mera "på känn" eller på tradition än på användandet av tillförlitlighetsmodeller. Eftersom dessa insatser förväntas öka i och med att systemen hela tiden blir mer komplexa så kommer också behovet av att på ett systematiskt och strukturerat sätt analysera kontrollfunktionerna att öka.

För de behov som har specificerats ovan krävs, för de byggnadsindustriella systemen, att all tillgänglig information måste tas tillvara. Detta innebär att såväl den statistiska informationen

om komponenternas funktionsfel som den subjektiva systemkunskapen, som befinner sig på en lägre informationsnivå, ska tas tillvara. Den subjektiva kunskapen är ofta den enda som täcker in de grova felen, och dessa måste ju beaktas i de byggnadsindustriella systemen.

Ekonomiska motiv måste dock kunna påvisas för att övertyga industrin om nyttan med riskanalys. Att kontrollen kan bli effektivare samtidigt som man lättare kan identifiera svaga länkar är nog uppenbart, men samtidigt kostar det tid och pengar att utföra en riskanalys.

Att kvantitativt påvisa de ekonomiska fördelarna är dock komplicerat även om det har utförts försök med att införa ekonomiska termer i beslutsteoretiska modeller. Generellt är nog dessa modeller idag enbart av schematisk natur. Ekonomiska termer passar dock bäst in i humanistiska system och vi får nog avvakta tills analysen av sådana system har utvecklats vidare.

En eventuell användning av riskanalys styrs dock, förutom av ekonomiska och systemanalytiska motiv, även av normer och lagar samt av beställarens krav. Även om det kan dröja innan några krav på generell riskanalys införs i normerna så är nog att förvänta att beställarnas krav kommer att öka inom en snar framtid. Till exempel så framförs redan idag ofta krav på en systematiserad behandling av QA/QC.

3 DIFFUSA MÄNGDER

Detta kapitel är, som tidigare nämnts, avsett att ge en kortfattad introduktion till teorin om diffusa mängder. Förhoppningen är att kapitlet ska ge en tillräcklig teoretisk grund så att den efterföljande diskussionen om nya metoder och idéer, baserade på diffusa mängder, ska vara konceptuellt förståelig. Dessutom kan kapitlet tjäna som en introduktion till fortsatta studier inom området. Det ska påpekas att det nog krävs ytterligare studier för dem som själva är intresserade att applicera de nya teorierna.

För att ytterligare begränsa kapitlet så kommer bara vissa delar av teorin att behandlas. Dessa är ej nödvändigt av större intresse än de delar som ej kommer att omnämnas utan har istället utvalts eftersom de tillämpas i de metoder som ska behandlas i kapitel 4.

Slutligen så är kapitlet avsett att försöka ge en kortfattad beskrivning av de speciella egenskaper som kännetecknar metoder baserade på diffusa mängder. Detta är speciellt viktigt då man jämför med alternativa metoder, som till exempel kan vara baserade på sannolikhetsteorin, och då man analyserar resultaten från utförda analyser.

Av ovanstående framgår att den mer intresserade läsaren är hänvisad till andra källor. Dock ska det framhållas att det bara finns ett begränsat urval med bra översiktliga genomgångar och av litteratur som kan fungera som läroböcker.

Intressant är Zadeh, 1965, som är den artikel som först introducerade det nya begreppet diffusa mängder. Den är dock delvis matematiskt inriktad och berör inga tillämpningar av teorin. En senare, och även mer matematiskt inriktad, rätt heltäckande genomgång ges av Dubois och Prade, 1980. Dessutom publiceras nya rön i olika internationella facktidskrifter, till exempel i specialtidskriften "Fuzzy Sets and Systems".

För den som är mer intresserad av tillämpningar och speciellt av byggnadsindustriella sådana kan nämnas Blockley, 1980, och Andersson, 1982. Dessutom har ett flertal specialtillämpningar presenterats i olika tidskrifter och på olika konferenser. De byggnadsindustriella tillämpningarna och metoderna kommer dock att diskuteras vidare, och mer utförligt, i avsnitt 3.4.2 och i kapitel 4.

3.1 Introduktion

Grundtanken med diffusa mängder är att de ska ingå i en teori som beskriver situationer där informationen är begränsad, oprecis eller diffus.

I den grundläggande matematiken, mängdläran, så förutsätts vanligen att någonting tillhör eller inte tillhör en mängd. Detta är också ofta naturligt när man talar om rent matematiska mängdbegrepp, till exempel mängden positiva heltal där talen 5 och 9999 tillhör mängden medan talet -1 ej tillhör mängden.

I många fall, speciellt för lingvistisk information, så är dock en mängd ej entydigt definierad. Som ett exempel kan nämnas mängden tal mycket större än 1. Vissa tal tillhör respektive tillhör inte mängden, till exempel talen 9999 och -1 . Talet 5 är däremot ett grännsfall och det är inte säkert om det tillhör mängden eller ej. Detta är givetvis beroende på situationen, det vill säga vad man mer specifikt avser med mängden tal mycket större än 1. Faktum kvarstår dock att vi inte alltid kan avgöra om talet 5 tillhör mängden eller ej.

Det är för sådana mängder, diffusa mängder, som man har infört begreppet "graden av medlemskap". Detta innebär att vi förutom medlemskap och icke medlemskap även har ett diffust område där graden kontinuerligt övergår mellan dessa stadier.

Vid ett närmare studium finner man att de diffusa mängderna i realiteten är betydligt mer vanligt förekommande än de icke diffusa mängderna. Det diffusa övergångsområdet kan dock vara mer eller mindre omfattande. Det ska också påpekas att informa-

tionen inte behöver vara lingvistisk för att mängden ska vara diffus. Ett exempel på detta är mängden djur, en mängd som vid första åtanke verkar vara icke diffus. Det är ju helt entydigt att hundar och hästar tillhör mängden djur medan, till exempel, stenar och granar ej tillhör mängden. Däremot är det mera diffust ifråga om till exempel sjöstjärnor och bakterier.

Användning av diffusa mängder har många likheter med, men ska ej förväxlas med, situationer då man ej vet värdet, utfallet, av något. Med detta avses att värdet är entydigt men okänt. För sådana situationer finns det olika teorier att förutsäga, eller att skatta, värdet. Av dessa teorier är sannolikhetsteorin den mest kända men flera alternativa teorier finns av vilka kan nämnas möjlighetsteorin. Denna teori har mycket gemensamt med teorin om diffusa mängder och behandlas också mer utförligt nedan.

För att återgå till diffusa mängder så är teorin tänkt att vara applicerbar för lingvistisk information. Sådan information är förutom att vara diffus även av subjektiv natur. Detta leder också till att teorin ska kunna användas för subjektiv information. Subjektiv information är mest framträdande i humanistiska system. Dessa system har, till skillnad från de mekaniska systemen, hitintills inte framgångsrikt behandlats med matematiska metoder. De som förespråkar diffusa mängder har däremot en förhoppning om att man med denna nya teori bättre ska kunna behandla, och förstå, de humanistiska systemen.

Det ska dock påpekas att det ligger i teorins natur att eftersom denna endast kräver diffus eller begränsad information så blir även slutresultatet av en analys även den mer eller mindre diffus. Förutsättningarna får dock, givetvis, aldrig vara sådana att informationen är helt obefintlig vilket ju även skulle medföra att slutresultatet blir för diffust och att inga slutsatser av värde skulle kunna dras.

Dessutom ska tilläggas att även om teorin tillåter diffus information så är teorin i sig inte diffus, om än inte helt utforskad i varje detalj. Tvärtom så finns i teorin en väl utvecklad och analyserande matematik vilket innebär att teorin vilar på en

stabil matematisk grund.

Som är vanligt för alla nya idéer, har teorin likheter och släktskap med idéer som har presenterats långt tidigare. Dessa idéer har dock inte erhållit den genomslagskraft som introducerandet av diffusa mängder har erhållit. Detta eftersom många, i likhet med denna rapportens författare, upplever grundidén med diffusa mängder som intuitivt tilltalande. Detta är dock inte tillräckligt för att en ny teori ska kunna accepteras av tekniker och forskare. Teorin och idéerna måste även kunna appliceras på praktiska problem och producera resultat som inte lika enkelt eller tydligt kunnat erhållas med alternativa teorier.

3.2 Teoretisk bakgrund

Ovan har givits en verbal beskrivning av teorin om diffusa mängder. Det föreliggande avsnittet är avsett att vara en smula mer matematiskt med en grundläggande introduktion till teorin.

I litteraturen återfinns åtskilliga grundläggande introduktioner, av vilka många kan tjäna som ett komplement till nedanstående introduktion. Det som är tänkt att vara utmärkande här är att beskrivningen är avsedd att underlätta förståelsen för diffusa mängder och i mindre grad att ge en matematisk stringent teoretisk beskrivning. Dessutom inryms åsikter, av författaren, som delvis inte är allmänt accepterade.

3.2.1 Diffusa mängder

Medlemskapsfunktionen för mängder, såväl de diffusa som de traditionella mängderna, brukar betecknas $\mu(x)$. Funktionen är sådan att om x tillhör mängden A är $\mu(x)=1$. Om däremot x inte tillhör mängden A åsätts $\mu(x)=0$. För de traditionella mängderna avbildas x på talen 0 eller 1, vilket skrivs som att x avbildas på $\{0,1\}$.

Låt mängden A vara tal >3 . Om endast naturliga tal beaktas fås:

$$\mu(1)=0, \mu(2)=0, \mu(3)=0, \mu(4)=1, \dots, \mu(n)=1$$

Detta brukar ofta anges som:

$$A = \{0|1, 0|2, 0|3, 1|4, \dots, 1|n\}$$

Diffusa mängder innebär att man tillåter att medlemskapsfunktionen antar andra värden än enbart 0 eller 1. Istället införs en gradvis övergång mellan medlemskap och icke medlemskap innebärande att x avbildas på $[0,1]$, det vill säga $0 \leq \mu(x) \leq 1$.

Låt mängden B vara en diffus mängd och representera tal mycket större än 1. Ett subjektivt åsättande kan ge:

$$\mu(0)=0, \mu(1)=0, \mu(2)=0.01, \mu(3)=0.2, \dots, \mu(10)=0.98, \dots, \mu(100)=1, \dots, \mu(n)=1$$

Vi återkommer längre fram till hur man åsätter, eller bestämmer, lämpliga värden för medlemskapsfunktionen.

Man brukar utelämna de värden på x för vilka $\mu(x)=0$, vilket med den alternativa presentationen ger:

$$B = \{0.01|2, 0.2|3, \dots, 0.98|10, \dots, 1|100, \dots, 1|n\}$$

Diffusa mängder innebär med andra ord en utvidgning av den traditionella mängdläran. Mängden tal >3 , mängden A i exemplet ovan, får dock exakt samma tolkning i bägge fallen.

De elementära operationerna union, snitt och komplement har också sina motsvarigheter i teorin om diffusa mängder. Ett antal olika alternativ har föreslagits, men det har påvisats att för union och snitt är de enda acceptabla MAX respektive MIN operationerna. Dessa var även de som först föreslogs av Zadeh, 1965.

Detta innebär att för $C = A \cup B$ så är $\mu_C = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B)$ och för

$$D = A \cap B \text{ så är } \mu_D = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B).$$

Exempel:

Låt $A = \{0|0, 0.5|1, 1|2\}$ och $B = \{1|0, 0.5|1, 0|2\}$ så blir
 $C = \{1|0, 0.5|1, 1|2\}$ och $D = \{0|0, 0.5|1, 0|2\}$

I algebraiska sammanhang används ofta beteckningarna \wedge och \vee ,
 det vill säga:

$$(\mu_A \vee \mu_B) = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B) \quad (\mu_A \wedge \mu_B) = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B)$$

I fortsättningen kommer bara beteckningarna MAX och MIN att användas men \vee och \wedge används ibland i litteraturen vilket motiverar ovanstående omnämmande.

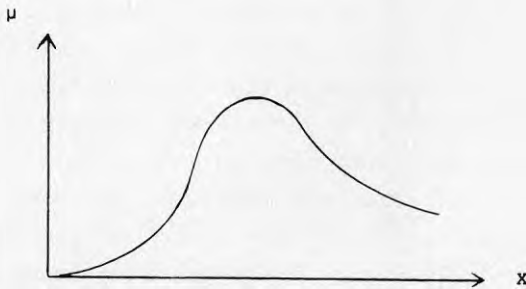
Alternativa formuleringar till MAX och MIN är bland andra den algebraiska summan respektive den algebraiska produkten ($\mu_C^* = \mu_A + \mu_B - \mu_A * \mu_B$ och $\mu_D^* = \mu_A * \mu_B$). Dessa brukar omnämnas som svaga formuleringar. Trots att de ger upphov till en svagare algebra än MAX och MIN har de ändå använts i flera olika sammanhang. Detta motiveras med att man anser att MAX och MIN är för "stela", vilket innebär att resultaten inte förändras med antalet operationer. Detta är nog en olämplig tolkning av diffusa mängder som sannolikt har sitt upphov i vanan att tänka i sannolikheteoretiska banor. Detta innebär att det, i författarens tycke, inte finns något motiv för att använda de alternativa formuleringarna, jämför exemplet i avsnitt 4.3.

För komplementet är det inte lika enkelt att finna den enda acceptabla lösningen. Den allmänt accepterade definitionen är att om \bar{A} är komplementet till A så är $\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$, vilket också var den formuleringen som föreslogs i Zadeh, 1965.

Detta innebär dock att unionen av A och \bar{A} inte behöver vara "allt" och att snittet av A och \bar{A} inte behöver vara den tomma mängden, det vill säga $A \cup \bar{A} \geq \emptyset$ och $A \cap \bar{A} \leq E$ (Enhetmängden).

Språkligt uttryckt kan någonting, visserligen med ett lågt värde på medlemskapsfunktionen, ha en röd färg samtidigt som det inte har en röd färg.

Ovan har endast diskreta medlemskapsfunktioner behandlats. Minst lika vanligt är att medlemskapsfunktionen representeras av en kontinuerlig funktion. Till exempel kan x avse alla reella tal. Eftersom det i de allra flesta fall är enklare att behandla diskreta funktioner så diskretiseras, approximeras, ofta de kontinuerliga funktionerna till diskreta funktioner. Det ska dock påpekas, vilket kommer att diskuteras mer utförligt i avsnitt 4.3, att detta förfarande kan leda till felaktiga resultat såvida inte speciell aktsamhet vidtas.



Figur 3.1 En konvex diffus mängd

Diffusa mängder som både är normaliserade och konvexa benämns diffusa tal (fuzzy numbers). Att de är normaliserade innebär att

$\text{MAX}_x \mu_x(x) = 1$ medan kriteriet på en konvex diffus mängd är:
 $\forall x_1 \in x, \forall x_2 \in x, \forall \lambda \in [0,1]$ är

$$\mu(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \text{MIN}(\mu(x_1), \mu(x_2))$$

Alternativt formulerat, ett diffust tal har ett värde x_1 sådant att $\mu(x_1)=1$ och för $x < x_1$ är μ ökande medan för $x > x_1$ är avtagande, jämför FIG 3.1. I denna figur avbildas det diffusa talet "ungefär 0,5". Medlemskapsfunktionen är sådan att $\mu(0,5)=1$ medan, till exempel, $\mu(0,45) < 1$. Ett diffust tal innebär således att ett enstaka tal, eller en lingvistisk mängd, representeras av en kontinuerlig funktion. Detta medför givetvis att beräkningar med diffusa tal blir avsevärt mer komplexa än för icke-diffusa tal.

Diffusa tal är en mycket viktig delmängd av det mer generella begreppet diffusa mängder. Detta beroende på att de är naturliga att anta i många fall samt att de matematiska operationerna är betydligt kraftfullare för diffusa tal, samt att dessa operationer även är enklare att utföra.

Det är vanligt förekommande att man av någon anledning vill förändra utseendet på en antagen medlemskapsfunktion, eller att man vill beskriva en ny funktion som på något sätt står i ett visst förhållande till en given medlemskapsfunktion. Detta brukar utföras med en modifierarfunktion (hedges, restrictor functions). Som exempel kan nämnas att Zadeh, 1973, har föreslagit att om mängden A är S och mängden B är "mycket" S så är $\mu_B(x) = (\mu_A(x))^2$. Denna funktion benämns också som koncentration av en diffus mängd.

Andersson, 1985, har föreslagit att modifierarfunktioner används för att beskriva inverkan av kunskapen eller den befintliga informationsmängden för subjektiva utlåtanden. Detta innebär att man förutom att avge ett utlåtande, skattning, även anger säkerheten för detta utlåtande. Detta exemplifieras i exemplet i kapitel 4.

En speciell typ av modifierarfunktion är normalisering, vilket innebär att man justerar funktionen så att $\text{MAX } \mu(x) = 1$. För detta brukar man använda funktionen $\mu_{\text{norm}}(y) = \mu(y) / \text{MAX}_x \mu(x)$. När, och varför, man ska normalisera en diffus mängd är dock inte klarlagt. Dock så gäller det speciellt för diffusa tal att operationer med dessa i sin tur ger upphov till diffusa tal, det vill säga diffusa mängder som ej behöver normaliseras.

Vi har hitintills endast berört diffusa mängder i det 1-dimensionella rummet, och några olika typer av grundläggande operationer. Grundläggande för det flerdimensionella rummet är den Cartesiska produkten. I det 2-dimensionella rummet definierar den medlemskapsfunktionen för två mängder, A och B, genom:

$$\mu_{AXB}(x,y) = \text{MIN}(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

Ett exempel: om $A = \{1|x_1, 0.3|x_2\}$ och $B = \{0|y_1, 0.4|y_2\}$ så blir:

$$\mu(x_1, y_1) = \text{MIN}(1, 0) = 0 \quad \mu(x_2, y_1) = 0$$

$$\mu(x_1, y_2) = 0,4 \quad \mu(x_2, y_2) = 0,3$$

Något som tidigare användes mycket flitigt är sammansättning (composition). Detta innebär att om man vet medlemskapsfunktionen i det 2-dimensionella rummet X-Y och medlemskapsfunktionen i Y-Z rummet så ger sambandet:

$$\mu(x,z) = \text{MAX}_Y [\text{MIN}(\mu(x,y), \mu(y,z))]$$

medlemskapsfunktionen i X-Z rummet.

Även om sammansättning kan vara användbart i vissa sammanhang så är det betydligt viktigare med beräkningen av funktioner för diffusa mängder. Definitionen av detta brukar gå under benämningen utvidgningsprincipen (extension principle) och skrivs som:

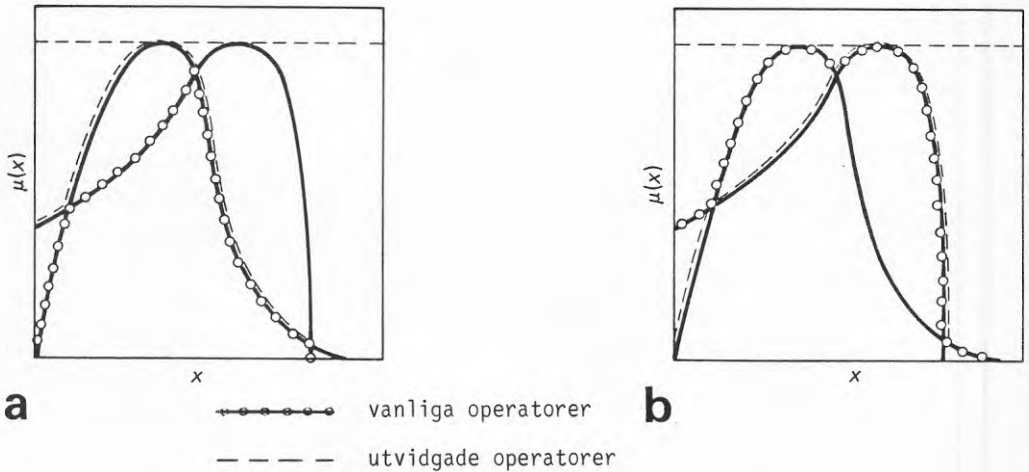
$$\mu_z = \mu(z) = \sup_{x \in Y} \text{MIN}_{z=x*y} (\mu(x), \mu(y))$$

där \emptyset betecknar den utvidgade operationen *. Detta kan till exempel vara de grundläggande matematiska operationerna + och -, som utvidgade betecknas \oplus och \ominus . I exemplen i kapitel 4 används dessutom utvidgade MAX och MIN som där betecknas $\widetilde{\text{MAX}}$ och $\widetilde{\text{MIN}}$.

Vid en beräkning av \emptyset , enligt en algoritm redövisad av Dubois & Prade, 1980, betraktar man endast de områden där både μ_A och μ_B är ökande samt de områden där både μ_A och μ_B är avtagande. Denna algoritm är dessutom enkel att programmera, speciellt vad avser en beräkning med diffusa tal.

Värt att notera är att de utvidgade operatorema, som till stor del kan tillskrivas Dubois & Prade, ger ett annat resultat än om man enbart tillämpar den Cartesiska produkten. I den tidigare utvecklingen av diffusa mängder var exakt detta vad man gjorde, det vill säga man åsatte:

$$\mu_z = \mu(x * y) = \text{MAX} [\text{MIN} (\mu(x), \mu(y))]$$



Figur 3.2 Jämförelse mellan vanliga och utvidgade operatörer

Ett exempel på skillnader i resultat redovisas i FIG 3.2. Om vi har att C inträffar om A ELLER B inträffar och det diffusa värdet för A är "högt" och värdet för B är "lågt" så är, intuitivt, värdet för C också "högt". Operationen ELLER modelleras med MAX eller med $\tilde{\text{MAX}}$ men för MAX erhålles en funktion med två maxima som knappast kan tolkas som "högt". $\tilde{\text{MAX}}$ däremot ger en funktion med förväntat utseende vilket ju bör vara uppfyllt om vi, som tidigare nämndes, avser att modellera subjektiva utlåtanden med diffusa mängder.

Motsvarande exempel kan anges som motiv för användandet av de utvidgade operationerna $\tilde{\otimes}$ istället för operationerna $*$.

Dessutom innebär de utvidgade operationerna applicerade på diffusa tal att för ett flertal operationer så blir den resulterande mängden också ett diffust tal. Exempelvis gäller att om X och Y är diffusa tal så är $Z=X\tilde{\otimes}Y$ också ett diffust tal efter operationerna $\tilde{\text{MAX}}$, $\tilde{\text{MIN}}$, $\tilde{\otimes}$ eller $\tilde{\ominus}$. Detta kanske inte verkar så viktigt vid första åtanke, men faktum är att det innebär att tve tydiga normaliseringar och andra konstgrepp därmed undviks och att resultaten lingvistiskt kan tolkas på exakt samma sätt som för de ursprungliga mängderna.

3.2.2 Diffus logik

Inom teorin om diffusa mängder har delområdet diffus logik (fuzzy logic) rönt relativt stort intresse. Även om inget av exemplen i kapitel 4 berör detta område ska ändå här ges en kort beskrivning av teorin om diffus logik. Detta eftersom Blockley, som nog är den mest framstående forskaren om diffusa mängder inom byggnadsindustrin, och hans kollegor i Bristol flitigt har använt denna teori. Deras arbete kommer vidare att beröras i avsnitt 3.4.2 medan föreliggande avsnitt mer berör de grundläggande idéerna.

Kombinationen av orden diffus och logik kan tyckas besynnerlig då orden diffus och logik verkar stå i motsatsförhållande till varandra. Logik som är deduktivt tänkande kan ju inte vara diffus utan ska vara klar och bestämd. Detta gäller även diffus logik och vad som i själva verket avses är en logik som baseras på teorin om diffusa mängder. Teorin bakom den diffusa logiken är således inte diffus utan tvärtom strukturerad och matematisk stringent. Däremot så medger teorin att ett påstående inte behöver vara lika strikt antingen sant eller falskt som den ordinarie logiken kräver. På motsvarande sätt som att medlemskapsfunktionen för mängdbegreppen expanderats till en kontinuerlig skala tillåts i den diffusa logiken att ett påståendes sanningsvärde avbildas på ett kontinuerligt område som avgränsas med ändvärdena sant respektive falskt.

Diffus logik baseras på en utvidgning av de klassiska begreppen modus ponens och modus tollens. Modus ponens innebär att om man har att $A \Rightarrow B$ och A är sant så medför detta att även B är sant. Modus tollens å sin sida innebär att om B är falskt så innebär detta att även A är falskt. Dessa grundbegrepp visas i Tabell 3.1 som även klargör det faktum att om man vet att B är sant så ger detta ingen information huruvida A är sant eller falskt. Dessutom så visas att om det gäller att A är sant och B är falskt så är implikationen $A \Rightarrow B$ falsk.

Tabell 3.1 Logiska samband för $A \Rightarrow B$

A	B	$A \Rightarrow B$
Sant	Sant	Sant
Sant	Falskt	Falskt
Falskt	Sant	Sant
Falskt	Falskt	Sant

Med diffus logik kan man på motsvarande sätt dra slutsatser även om sanningsvärdet av A varken är sant eller falskt. Exempel:

A är lång $\Rightarrow B$ är kort

och påståendet

A är lång är "ganska sant"

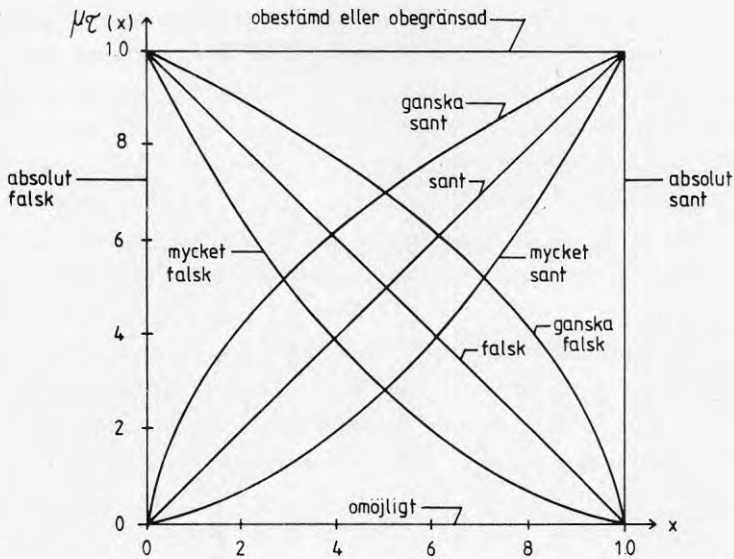
ger information så att man kan bestämma sanningsvärdet av " B är kort".

För att kunna göra detta måste dels en diffus version av implikation, $A \Rightarrow B$, definieras samt även vad som avses med "ganska sant".

I den diffusa logiken är sanningsvärdet en diffus mängd definierad i sanningsrummet, se ett exempel på ett förslaget sannings-

rum (Blockley, 1980) i FIG 3.3. För implikation finns flera olika varianter föreslagna men det har visat sig att den variant som föreslagits av Lukasiewicz blivit den ojämförligt mest använda. För diffusa mängder A och B innebär denna att:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = \text{MIN}(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$$



Figur 3.3 Sanningsrummet

Värt att notera är att Lukasiewicz föreslog denna definition redan på 30-talet i en teori som benämndes flervärdeslogik. Denna logik är dock ej identisk med diffus logik även om flera likheter kan identifieras.

Utan att gå in i detalj på hur beräkningar utförs kommer i avsnitt 3.4.2 resultat av metoder som baseras på diffus logik att presenteras. Här ska vi endast nämna att genom att bygga upp en logisk hierarki av samband och påståenden kan man till slut erhålla en bild av sanningsvärdet för det som efterfrågas. Observera att detta oftast innebär att man endast kan falsifiera ett påstående, eller annorlunda uttryckt ange en övre gräns för ett påståendes sanningsvärde.

3.2.3 Möjlighetsteorin

Diffusa mängder har använts till att beskriva situationer då man ej vet värdet, utfallet, av något. Denna användning skiljer sig i vissa avseenden ifrån ursprungstanken med diffusa mängder, det vill säga att diffusa mängder är mängder med diffusa gränser. För att särskilja dessa två olika tolkningar, användningsområden, benämner man ibland användandet i samband med osäkra utfall som möjlighetsteorin (theory of possibility). Detta har dock ej anammats av alla, vilket innebär att man ofta talar om diffusa mängder även när man avser tillämpningar med osäkra utfall.

Att särskilja begreppen kan dock vara önskvärt, enligt föreliggande rapports författare, enär man i kombination med osäkra utfall även kan ha diffusa mängder. Man talar då om, till exempel, diffusa möjligheter. Detta diskuteras vidare nedan.

För situationer med osäkra gränser har man traditionellt enbart använt den klassiska sannolikhetsteorin men under senare år har man lättat på den bitvis stränga frekventistiska sannolikheten och infört subjektiva sannolikheter (Bayesiansk teori). Dessutom har ett antal olika alternativa mått föreslagits, till exempel möjlighetsteorin.

De flesta av dessa nya mått uppfyller de villkor som Sugeno, (Dubois & Prade, 1980) ställt upp för osäkerhetsmått (Fuzzy measures). Dessa villkor är snarlika dem som gäller inom sannolikhetsteorin men ett villkor på additivitet har Sugeno ersatt med det mindre stränga kravet på monotivitet. Denna generalisering av osäkerhetsbegreppet har visat sig vara både kraftfull

och generell. Det är tillämpligt på både sannolikhet och möjlighet men även andra osäkerhetsmått, såsom Shafer's "belief functions and plausibility measures".

I detta avsnitt kommer bara möjlighetsteorin att beskrivas men Shafer's nya osäkerhetsmått berörs kortfattat i avsnitt 3.4.2. Dessa mått är dock inte baserade på diffusa mängder vilket däremot är fallet med möjlighetsteorin.

Termen möjlighetsteori introducerades av Zadeh, 1978. I denna introduktionsartikel beskrevs teorin med hjälp av diffusa restriktioner (fuzzy constraints). Ett alternativt angreppssätt, som ska användas nedan, är att basera beskrivningen på termen osäkerhetsmått. Detta angreppssätt är nog konceptuellt enklare och ger dessutom en klarare distinktion mellan möjlighet och sannolikhet, vilket är önskvärt eftersom möjlighetsteorin i vissa sammanhang kan ses som ett alternativ till sannolikhets-teorin.

Möjligheter ska tolkas ungefär som de används i dagligt tal, till exempel ... det kan vara möjligt att det kan inträffa. För att belysa en viktig skillnad i den språkliga uttolkningen av möjligheter kontra sannolikheter kan ett exempel föreslaget av Prof. M. Kochen vid ett symposium om diffusa mängder användas. Vi har en grupp människor som väntar på en buss. Denna kommer men är fullsatt. Människorna i kön ber chauffören om att få åka med. Här bör man inse skillnaden mellan möjligheten att 1,2,3, etc personer kan komma på bussen och sannolikheten att 1,2,3 etc personer får komma med. Det är nog lättare att uppskatta möjligheten att ytterligare 1 person till får plats än att uppskatta sannolikheten att chauffören tar med ytterligare 1 person.

Låt π beteckna möjligheten, $0 \leq \pi \leq 1$, och p beteckna sannolikheten. Om bussen ej var helt proppfull kan vi få värden på u = antalet personer som får gå på bussen enligt:

$u =$	0	1	2	3	4	5
$\pi(u)$	1	1	0,8	0,6	0,5	0,4
$p(u)$	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0

Vi har ett samband mellan möjlighet π och sannolikhet p som innebär att om möjligheten är noll så är sannolikheten noll medan ett sannolikhetsvärde inte säger något om möjlighetsvärdet, förutom att $\pi \neq 0$ då $p > 0$.

I exemplet ovan har man betydligt lättare att skatta ett möjlighetsvärde än ett sannolikhetsvärde. Skillnaden ligger i att möjlighetsteorin är anpassad för unika situationer medan sannolikhetsteorin främst är avsedd för repeterbara situationer. Dessutom framgår det att $\sum p=1$ inte har någon motsvarighet för möjligheter. I många fall, speciellt för subjektiva sannolikheter, är just detta krav svårt att uppfylla.

Innan ytterligare jämförelser mellan sannolikheter kontra möjligheter görs kan det vara på sin plats med en matematisk definition av möjlighetsteorin.

Ett möjlighetsmått $\Pi(A)$ är sådan att :

$$\Pi(A) \in [0,1], \Pi(X)=1 \text{ och } \Pi(\emptyset)=0$$

där X representerar hela definitionsmängden och \emptyset representerar den tomma mängden.

Vidare gäller att för varje kombination $\{A_i\}$ av delmängder i X gäller att $\Pi(\cup_i A_i) = \sup \Pi(A_i)$

Från dessa grundläggande samband kan formelerna för union och snitt härledas.

$$\Pi(A \cup B) = \max (\Pi(A), \Pi(B))$$

$$\Pi(A \cap B) \leq \min (\Pi(A), \Pi(B))$$

Om A och B är icke interaktiva så gäller istället för snitt att:

$$\Pi(A \cap B) = \min (\Pi(A), \Pi(B))$$

Interaktivitet inom möjlighetsteorin kan jämföras med beroende inom sannolikhetsteorin. För bägge gäller att man ofta förut-

sätter, icke interaktivitet respektive oberoende även om dessa antaganden inte kan verifieras utan, tvärtom, ibland kan påvisas vara direkt felaktiga. Antagandena baseras istället på att efterföljande beräkningar blir väsentligt enklare att utföra samt, vilket är nog så viktigt, att man saknar kunskapsunderlag rörande graden av interaktivitet eller beroende.

En viktig skillnad mellan beroende inom sannolikhetsteorin och interaktivitet inom möjlighetsteorin är att beroendet verkar på unionen,

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - 2 * P(A \cap B)$$

medan interaktiviteten verkar på snittet,

$$\Pi(A \cap B) \leq \text{MIN}(\Pi(A), \Pi(B))$$

Detta medför att de framräknade sannolikheterna med ett antagande om oberoende oftast blir underskattade medan möjligheterna med ett antagande om icke interaktivitet blir överskattade. Vad gäller framräknade värden för tillförlitlighetsberäkningar är en överskattning av felsannolikheterna givetvis är att föredra, det ger en konservativ beräkning. Det har visat sig att för felträd, där man vanligtvis förutsätter oberoende händelser, har detta ibland medfört att felsannolikheten för topphändelsen blivit felaktig med flera tiopotenser.

En annan viktig skillnad mellan möjlighetsteorin och sannolikhetsteorin är, som har påpekats av Garribba et al, 1985, att för möjlighetsteorin gäller att:

$$\text{MAX} (\Pi(A), \Pi(\bar{A})) = 1$$

medan det för sannolikhetsteorin gäller att:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1$$

I avsnitt 3.4 kommer diskussionen om skillnaderna mellan möjlighetsteorin och sannolikhetsteorin att fullföljas vad avser användningsområden och applikationer.

Mängderna A och B i definitionerna ovan av möjligheter avser traditionella, icke diffusa, mängder. Dessa definitioner kan emellertid också utvidgas till att gälla diffusa mängder. Detta, men även andra utvidgningar av möjlighetsteori, såsom betingade möjligheter, faller dock utanför ramen för denna rapport.

Ett möjlighetsmått, Π , kan byggas upp av en möjlighetsfördelning genom:

$$\Pi(A) = \sup_{X \in A} \pi(x)$$

För diskreta mängder gäller att:

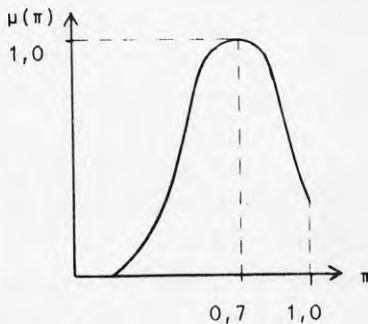
$$\Pi(X=U) = \pi(u)$$

Detta kan jämföras med beteckningen $P(X)$ för diskreta sannolikhetsfördelningar, till exempel det välbekanta exemplet att sannolikheten att få en sexa när man slår en tärning är $P(6) = 1/6$.

Det kan upplevas som en svaghet att det inom möjlighetsteorin inte finns något entydigt sätt att ansätta möjligheter. Dock ska det påpekas att subjektiva sannolikheter har samma svaghet om man försöker tolka dessa sannolikheter på samma sätt som de klassiska frekventistiska sannolikheterna. Frekventiska sannolikheter kan ju entydigt definieras baserat på utfallet av ett oändligt antal slumpmässiga försök. Att tolka subjektiva sannolikheter på motsvarande sätt som de klassiska kan emellertid ibland vara vilseledande då de subjektiva sannolikheterna kan upplevas som att de representerar exakta vetenskapliga värden. Följaktligen kan det lätt bli så att man bortser ifrån eller glömmer bort de osäkerheter och den subjektivism som varit rådande. Detta gäller speciellt när enbart resultaten av en analys presenteras och det inte klart framgår om sannolikheterna avser klassiska sannolikheter eller om de avser subjektiva sannolikheter.

Vid åsättande av ett möjlighetsvärde, vilket kommer att diskuteras vidare i avsnitt 3.2.4, är det därmed svårt att ange en exakt siffra. Istället anger man ofta möjlighetsvärdet lingvistiskt, till exempel "ganska låg möjlighet". Konsekvensen av

detta är att möjlighetsvärdet utgör en diffus mängd. En sådan mängd betecknas $\tilde{\Pi}$, till exempel enligt FIG 3.4., och benämns i fortsättningen diffus möjlighet.



Figur 3.4 Schematisk bild av diffusa möjligheter $\approx 0,7$

För diffusa möjligheter bör de utvidgade operatorena användas. Detta eftersom, i enlighet med diskussionen i avsnitt 3.2.1, subjektivt och lingvistiskt åsatta värden bör utvärderas med de utvidgade operatorena. Följaktligen gäller:

$$\tilde{\Pi}(A \cup B) = \text{MAX}(\tilde{\Pi}(A), \tilde{\Pi}(B))$$

Av definitionerna på snitt och union ovan framgår det att operatorena MAX och MIN är centrala inom möjlighetsteorin. Detsamma gäller för diffusa mängder, jämför avsnitt 3.2.1, vilket innebär att möjlighetsteorin och teorin om diffusa mängder har likartad grundstomme. Dessutom är bägge teorierna avsedda för begränsad och diffus information. På dessa grunder anser denna rapportens författare att det vanligtvis är mer lämpat att använda möjlighetsteorin i kombination med diffusa mängder än att använda san-

nolikhets teorin i kombination med diffusa mängder. I litteraturen finns det dock flera exempel på diffusa mängder i kombination med andra osäkerhetsmått än möjligheter, till exempel diffusa sannolikheter, Blockley, 1979, och diffusa "belief functions", Ishizuka et al, 1982.

3.2.4 Medlemskapsfunktioner

I tidigare avsnitt har det bara kortfattat berörts hur man åsätter möjlighetsvärden och hur man bestämmer medlemskapsfunktionen för en diffus mängd. Eftersom detta, trots allt, är relativt centralt för den praktiska applikationen av teorierna så ska detta avsnitt ägnas åt en kort diskussion om möjlighetsvärden och medlemskapsfunktioner.

Man kan börja med att konstatera att det inte finns någon generell princip för hur man åsätter dylika värden. Dessutom så ligger det i sakens natur att dessa värden egentligen själva är diffusa mängder, det vill säga att för en given diffus mängd med värdet $\mu(x_i)=y_i$ så är y_i själv en diffus mängd. Detta eftersom diffusa mängder, till exempel, representerar lingvistiska data som därmed har begränsat informationsinnehåll och kan tolkas olika av olika individer.

Följaktligen kan val av medlemskapsfunktion verka som en hopplös uppgift men, även om det ska medges att kunskapen inom detta område av teorin bitvis är bristfällig, finns det flera indikationer på att detta trots allt kan lösas på ett tillfredställande sätt. Viktigt är att man inser att det exakta utseendet och respektive värden för en medlemskapsfunktion är av underordnad betydelse, vilket också exemplifieras i avsnitt 4.1. Orsaken till detta är enkel, de resultat som erhålls med metoder som är baserade på teorin om diffusa mängder ska användas som en indikation på läget och inte som exakta numeriska värden. En sådan indikation erhålls, till exempel, om resultatet anges lingvistiskt, enligt de medlemskapsfunktioner som har åsatts.

Det är viktigt att påpeka, och motivera, att medlemskapsfunktioner inte behöver kunna härledas matematiskt. Detta eftersom man

lätt annars kan förledas av krav på skenbar matematisk exakthet, vilket grundar sig på vanan att endast behandla problem som lätt kan uttryckas matematiskt. Denna vana, som grundlagts av analyser av mekaniska system, gör att man lätt övervärderar vikten av entydigt definierade medlemskapsfunktioner. Humanistiska system, som diffusa mängder är avsedda att modellera, kan inte uttryckas matematiskt exakt vilket innebär att dessa måste angripas med alternativa angreppssätt än vad som är gängse för mekaniska system. Modeller blir approximativa både vad avser informationsdata och vad avser själva beräkningsmodellen. Detta medför att de resultat som framställs ska utvärderas och tolkas därefter.

Ett antal olika idéer som har presenterats för att bestämma medlemskapsfunktionerna redovisas av Dubois & Prade, 1980. Vanligt är att funktionsvärdena föreslås baserade på statistiska data. Till exempel kan man för att bestämma funktionen för "lång" i något visst sammanhang bestämma funktionsvärdet som den andel av de tillfrågade som anser att lång gäller för ifrågavarande värde. Man kan därvid erhålla andelen 50 % för värdet 180 cm och 90 % för 190 cm. På motsvarande sätt kan man använda statistiska data för att bestämma möjlighetsvärden. Om man har statistiska data i form av ett histogram så bestäms sannolikhetsfördelningen genom att man ändrar histogrammets skala så att ytan under det samma blir lika med 1. För att bestämma möjlighetsfördelningen ändrar man istället histogrammet så att det högsta värdet blir 1.

I många fall gäller att man, mer eller mindre intuitivt, känner till utseendet av eller formen för en lämplig medlemskapsfunktion. Om man till exempel betraktar diffusa möjligheter, jämför avsnitt 3.2.3, så gäller givetvis att $\tilde{\pi}$ endast kan anta värden mellan 0 och 1 och att funktionen bör vara konvex. En funktion för "mycket hög möjlighet" kan ju knappast ha två maxima. Vidare, funktioner för möjligheter av typen "ungefär 0,7" bör dessutom vara normaliserade, det vill säga $\mu(\tilde{\pi}=0,7)=1$. Detta innebär att ifrågavarande funktion är ett diffust tal, en egenskap som enligt avsnitt 3.2.1 är önskvärd. Att motivera att även funktioner av typen "hög möjlighet" bör vara normaliserade är inte lika enkelt även om det verkar vara ett rimligt antagande.

Schmucker, 1984, betonar att medlemskapsfunktionerna är subjektiva, och lite godtyckliga, funktioner som bestäms apriori av den som ska utföra analysen. Dessa funktioner återspeglar förhoppningsvis den intuitiva uppfattningen hos dem som berörs av analysen. Det viktiga är att dessa funktioner är desamma inom en och samma analys och, givetvis, måste användas som bas vid resultatutvärderingen. Igen, det viktiga är inte de exakta funktionsvärdena utan att de använda medlemskapsfunktionerna verkar vettiga och uppfyller intuitivt ställda krav. Dessa krav lär variera beroende på användningsområde och på aktuell tillämpning.

3.3 Speciella egenskaper

Eftersom diffusa mängder är relativt okända och oprövade kan det vara en god idé att på ett och samma ställe nämna något om de speciella krav som användandet av dessa ställer. Detta avsnitt ska sammanfatta och klargöra vad användande av metodik som baseras på diffusa mängder egentligen innebär och vad användandet av denna metodik medför ifråga om förutsättningar och slutsatser.

I tidigare avsnitt har det vid flera tillfällen betonats att metoder som baseras på diffusa mängder är avsedda att utnyttja och tillvarata subjektiv, oprecis information. Därmed måste det nog klargöras att detta innebär att dylika metoder ej är lämpade för situationer som kräver fullständig objektivitet. Till exempel är diffusa mängder olämpliga för situationer då det ska påvisas att ett system uppfyller/understiger, något gränsvärde som är uppställt av någon annan än den som utför analysen. Detta kan vara ett krav på att ett riskvärde ska understiga ett visst normangivet gränsvärde. Det är önskvärt att analyser som använt diffusa mängder även i resultatpresentationen påpekar att detta avser en analys med utnyttjande av subjektiv diffus information.

Däremot bör man i riskanalyser av byggnadsindustriella system ta tillvara den subjektiva informationen, speciellt om avsikten är att identifiera och försöka motverka riskfaktorer av betydelse. För dessa system är den subjektiva informationen ofta betydligt

mer väsentlig och innehållsrik än vad som är möjligt att erhålla med enbart den objektiva informationen, jämför avsnitt 2.3. Denna subjektiva information uppfyller dock sällan de krav som kan ställas upp för sannolikheteoretiska modeller. Istället kan den användas i metoder som utnyttjar diffusa mängder eller möjlighetsteorin.

Resultaten av analyser med subjektiv diffus information bör presenteras som en indikation på det ungefärliga läget av det "exakta" resultatet, till exempel genom att man anger resultatet lingvistiskt. Det är mycket viktigt att ej presentera vilseledande skenbart exakta resultat. Detta har tyvärr ibland varit fallet med analyser som har använt subjektiva sannolikheter men som har presenterat resultaten som om de vore baserade på frekventistiska, exakta, sannolikheter.

Alltså, diffusa mängder kan användas till att ta tillvara och utnyttja subjektiv och diffus information. Diffusa mängder är dock inget undermedel. Man kan aldrig, oavsett metodik, få ut mer av en analys än vad som inryms i modellen och som finns i vidhängande tillvaratagen kunskap och information.

För system där människan och mänskligt agerande, humanistiska system, har en betydande inverkan på systemets tillförlitlighetsegenskaper har hitintills traditionella metoder visat sig var otillräckliga. Detta orsakas av att dessa metoder är avsedda och framtagna för analys av mekaniska system. Det är knappast troligt att diffusa mängder tillför något nytt för analys av de mekaniska systemen. Däremot har det för de humanistiska systemen, med deras inneboende begränsade och diffusa informationsinnehåll, visat sig att det kan vara lämpligt att använda diffusa mängder.

Även om analyser med metoder som är baserade på diffusa mängder eller på möjlighetsteorin inte kräver fullständig och komplett information och endast presenterar ungefärliga resultat kan de numeriska beräkningarna bli rätt omfattande. I praktiska sammanhang tillgrips därmed ofta datorberäkningar. Ibland har man istället tillgripit förenklingar som dock kan påverka resultatens tillförlitlighet negativt.

Det kan påvisas, Blockley, 1985, att sannolikheteoretiska modeller ställer stora krav på informationsinnehållet men i sin tur, om dessa krav är uppfyllda, ger en god bild av det system som har analyserats. Möjlighetsteorin å sin sida ställer inte lika höga krav på informationen men ger ej heller en lika exakt bild av systemet. I riskanalytiska sammanhang kan man se det som att möjlighetsteorin ger en möjlighet att bestämma ordningen av riskfaktorernas betydelse medan sannolikheteorin ger en möjlighet att bestämma både faktorernas ordning och deras storlek. Vilken metodik man ska använda är således beroende av det resultat man vill uppnå men även beroende av den tillgängliga informationen.

3.4 Applikationer

Zadeh's introduktionsartikel presenterades i mitten av 60-talet och de första metoderna baserade på denna nya teori dök upp på 70-talet. Sedan dess har intresset världen över vuxit närmast explosionsartat. För närvarande arbetar man vidare med teorins grundvalar samtidigt som nya användningsområden och nya metoder hela tiden lanseras och testas. Dessutom används numera diffusa mängder i ett flertal olika praktiskt tillämpbara metoder.

Följaktligen är det här helt omöjligt att ge en beskrivning av alla förekommande användningsområden och metoder. Istället är avsnittet avsett att ge en indikation på teorins tillämpbarhet samtidigt som det ges ett tillfälle till en yttlig litteraturoversikt över metoder med byggnadsindustriell anknytning. Denna ges med en tonvikt på riskanalys och beslutsfattande.

3.4.1 Användningsområden

Även om diffusa mängder har föreslagits för användning inom områden som är mycket olika och artskilda så finns det oftast några gemensamma nämnare. Vanligast är att applicerandet gäller humanistiska system, det vill säga man avser att försöka modellera mänskligt handlande eller människans tankesätt. Detta kan till

exempel vara att modellera operatörers handlande eller som i expertsystem att man försöker modellera experter och specialisters kunskap och slutledningsförmåga. Gemensamt för de flesta föreslagna applikationerna är att man försöker att ta tillvara all information, även om denna är bristfällig och subjektiv.

I ett flertal fall, dock långt ifrån alla, föreslås användandet av diffusa mängder, eller möjlighetsteorin, som ett alternativ till den traditionellt använda sannolikhetsteorin. Detta gäller främst bayesianska metoder medan för situationer där den frekventistiska sannolikhetsdefinitionen är applicerbar mer sällan är lämpade för applicerandet av diffusa mängder. Möjligheter och diffusa mängder kan även användas som ett komplement till eller tillsammans med sannolikheter. Till exempel genom användandet av diffusa sannolikheter eller i form av modeller där viss information uttrycks som möjligheter medan viss information bättre lämpas att uttryckas i sannolikhetstermer. Dessutom så gäller det att även för situationer där informationsmängden har bedömts som för begränsad för bayesianska sannolikheter har det visat sig att diffusa mängder kan vara lämpade.

Garrriba et al, 1985, har jämfört möjlighetsteorin och sannolikhetsteorin vad avser riskanalys av tryckkärl. De har kvantitativt utvärderat ett felträd, ett händelseträd och ett beslutsträd med bägge teorierna. Deras slutsats är att applicerandet av teorierna ger olika resultat. Resultaten är inte mer eller mindre konservativa utan teorierna ger istället olika värden och olika optimala lösningar. Detta är i sig inte förvånande utan avspeglar istället vikten av att ha en klar uppfattning om vad modellen representerar och vad tillgängliga data bäst avspeglar. Garrriba et al argumenterar att för situationer med händelser av typen låg sannolikhet - stora konsekvenser så bör möjlighetsteorin väljas. Detta eftersom det för dylika fall har påvisats att sannolikhetens krav på additivitet ($P(A \cup B) = P(A) + P(B)$) inte alls är uppfyllt. De skiljer därmed på händelser "i singular mod" som bäst lämpar sig för möjlighetsteorin och på händelser som representerar "en i en klass av likartade händelser" som bäst lämpar sig för sannolikhetsteorin.

För diffusa mängder rapporterar Larsen, 1980, om en praktisk utförd och lyckad applikation, styrning av cementugnar. Denna applikation, som är ett av det första genomförda industriella projektet i full skala, gäller ämnesområdet kontrollteori och styrsystem. I det fall som Larsen beskriver ersattes en operatör med ett diffust kontrollsystem. Ett av de diffusa kontrollsystemen som provades gav till och med ett något bättre resultat än när en operatör skötte kontrollen.

Ett annat område som tilldragit sig stort intresse är expertsystem. Eftersom detta även har föreslagits inom byggnadsindustrin så kommer diffusa expertsystem att diskuteras mer utförligt nedan i avsnitt 3.4.2. Expertsystem och system för diagnostik kan dock appliceras inom i stort sett alla tänkbara industriella verksamhetsområden. Som ett exempel kan nämnas medicinsk diagnostik, en applikation som innefattar diffus och subjektiv information, enär informationen till stor del baseras på vad människan, patienten, uttrycker.

Något som först kan tyckas förvånande är att diffusa mängder även har föreslagits inom kärnkraftsindustrin. Denna industri har ju sedan länge använt sofistikerade riskanalytiska metoder och har dessutom tillgång till väl dokumenterade databaser för olika komponenters tillförlitlighet och felsannolikhet. Nishiwaki, 1986, nämner dock flera områden, till exempel lokalisering av kärnkraftverk, där det kan vara lämpligt att istället använda metoder som baseras på diffusa mängder. Dessutom finns det indikationer på att diffusa mängder har tilldragit sig ett allt större intresse inom östblockets kärnkraftsindustri.

Nishiwaki rapporterar också om några idéer att expandera felträdstekniken till att innefatta diffusa mängder. Detta kan till exempel ske genom att händelsernas felsannolikheter uttrycks som diffusa sannolikheter. Alternativt (Andersson, 1985) kan felträd evalueras med möjlighetsteorin. Den sistnämnda idén kommer att diskuteras mer utförligt i avsnitt 4.1. Den främsta skillnaden mellan dessa olika sätt att inkorporera diffusa mängder inom felträdsanalysen avser själva händelserepresentationen. Om felträdet avser mekaniska system med begränsat informationsinnehåll avseende felsannolikheterna kan användandet av diffusa sannolik-

heter vara ett alternativ. Däremot, om felträdet modifierats till att avspegla humanistiska system så är det mindre lämpligt att basera den kvantitativa utvärderingen på sannolikheter och det är istället lämpligt att välja den mindre informationskrävande möjlighetsteorin som bas för den kvantitativa utvärderingen. Skillnaden ligger alltså i om informationen är tillräckligt stark att stödja en sannolikhetsmodell eller om denna bara kan stödja en möjlighetsteoretisk modell.

För riskanalys redovisar Schmucker, 1984, en annan ide om tillämpbarheten av diffusa mängder. Schmuckers metod FRA (Fuzzy Risk Analyzer) påminner om felträdsanalys. Metoden bygger på att man startar från topphändelsen och, via ett interaktivt datorprogram, delar upp denna i enklare beståndsdelar som i sin tur delas upp o s v. Det finns dock inga grindar i felträds bemärkelse men implicit förutsätts ELLER-grindar. Sluthändelserna i trädet, primärhändelserna, åsätts felsannolikheter, händelsens allvarlighetsgrad och tillförlitligheten hos dessa åsättanden. De mellanliggande händelserna åsätts dessutom viktsfaktorer med tillhörande tillförlitlighet. Alla dessa värden ges lingvistiskt och översätts i programmet till diffusa mängder. Baserat på dessa mängder beräknas allvarlighetsgraden för topphändelsen som av programmet uttryck lingvistiskt.

Denna metod innehåller en del intressanta delar medan vissa andra delar kan ifrågasättas. Allvarlighetsgraden, som är det sökta, för en händelse skapas av en diffus medelvärdesbildning med sannolikheterna som viktsfaktorer. Att använda lingvistiska sannolikheter som viktsfaktorer kan kanske accepteras men medelvärdesbildningen verkar mer tveksam och något motiv för denna ges ej. Schmucker använder ej de utvidgade operatörerna och får följaktligen problem med konvexitet och normalisering, vilket han också medger.

Intressant är att man även ska ange tillförlitligheten för de åsatta värdena, något som kommer att diskuteras utförligt i kapitel 4. Schmucker anger dock ej hur detta ska beaktas i beräkningsmodellen, ej heller diskuteras vilken inverkan detta får på resultatet. Överhuvudtaget ges för få exempel för att man ska kunna yttra sig mer generellt om metodens användbarhet. Schmuc-

kers arbete är dock främst värt att nämnas för datorprogrammets interaktiva behandling av trädet samt i den utförliga analysen, och diskussionen, av kopplingen diffusa mängder och lingvistiska åsättanden. I de numeriska exempel som redovisas diskretiseras de kontinuerliga fördelningarna. Denna diskretisering är dock så gles att detta kan ge, vilket påpekats av Dong et al, 1985, kraftigt störda resultat.

Ovan har bara ett fåtal användningsområden omnämnts av den flora av idéer som har redovisats i litteraturen. Sannolikt är inte diffusa mängder tillämpbara inom alla områden men samtidigt gäller nog att det idag bara har föreslagits en bråkdel av alla de metoder som kommer att finnas vid seklets utgång. Detta eftersom det sedan i mitten av 70-talet hela tiden har skett en kraftig ökning av föreslagna praktiskt tillämpbara metoder. Dessa är föreslagna för humanistiska system som ju är mer generella än mekaniska system. Det räcker nog att nämna ett så vitt och relativt outvecklat område som den ekonomiska teorin för att motivera detta påståendes giltighet.

3.4.2 Applikationer inom byggnadsindustrin

I Andersson, 1982, gavs en översikt över vad som har presenterats inom byggnadsindustrin rörande diffusa mängder. Denna översikt omfattade en handfull forskare och ger nog en relativt komplett bild av verksamheten fram till 1980. Detta kan jämföras med situationen idag, 1986, där antalet aktiva forskare har ökat exponentiellt och där det är omöjligt att ge en heltäckande bild av hela det verksamhetsfält som byggnadsindustrin representerar. USA och Japan kan nämnas som exempel på länder där antalet internationellt publicerade författare numera uppgår till minst tvåsiffriga värden.

Följaktligen är ej översikten i detta avsnitt representativ för hela byggnadsindustrin och den är istället koncentrerad på metodik i anknytning till riskanalys. Dessutom har den heltäckande översikten i Andersson, 1982, här reducerats till en översikt av de metoder och idéer som av författaren har bedömts som mest intressanta eller som förväntas ha en stor inverkan på framtida

verksamheter. En brasklapp till, översikten baseras inte på någon systematisk litteratursökning utan kan snarare ses som en uppföljning av intressanta referenser. Författarens egna bidrag kommer att utförligt beskrivas först i kapitel 4, Exempel på nya metoder.

David Blockley är den mest välkända forskaren om diffusa mängder inom byggnadsindustrin. Hans första artikel om diffusa mängder presenterades 1977 och han har sedan dess varit mycket aktiv och presenterat ett flertal olika intressanta metoder. För närvarande är han ansvarig för en riskanalytisk studie av inverkan av gruvdriften i mellersta England, vilket är den första (?) praktiska applikationen av diffusa mängder inom byggnadsindustrin. Det aktuella problemet är att man inte alltid vet inverkan, och omfattningen, av mångfalden gruvhål vilket vid förhöjd belastning, av till exempel bostäder, kan leda till ras och allvarliga olyckor som följd. Detta projekt är dock ännu inte vare sig avrapporterat eller publicerat.

Blockley's första applikationer var annars bitvis trevande och motsägelsefulla och det är först med användandet av diffus logik (Blockley, 1981) som metodiken blir intressant på allvar. Applikationen gäller en analys av en konstruktions brottbenägenhet. Denna term ska dock förtydligas innan diskussionen om Blockley's föreslagna metodik påbörjas. Detta eftersom det som en uppföljning av Blockley's artiklar har publicerats ett antal olika varianter på samma tema, det vill säga att baserat på teorin om diffusa mängder bedöma en konstruktions brottbenägenhet.

Termen brottbenägenhet (proneness to accident) infördes av Pugsley, 1973. Utifrån erfarenheter från inträffade olyckor nämner han 8 st parametrar som lämpliga indikationer på brottbenägenhet. De är:

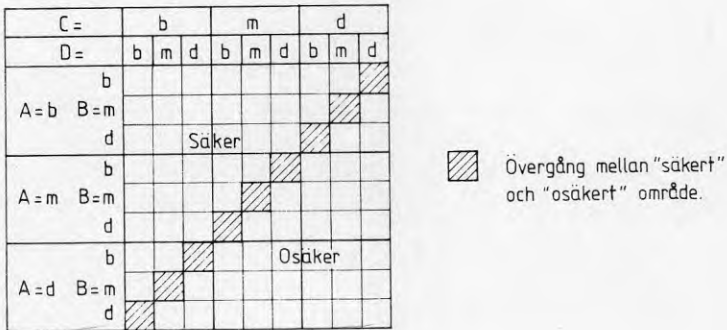
- 1 Nya eller ovanliga material
- 2 Nya eller ovanliga konstruktionsmetoder
- 3 Ny eller ovanlig konstruktionstyp
- 4 Erfarenhet och organisation hos konsult- och entreprenörsteam
- 5 Forsknings- och utvecklingsbakgrund
- 6 Industriellt klimat
- 7 Finansiellt klimat
- 8 Politiskt klimat

Om man på något sätt kunde bedöma eller värdera dessa parametrar för ett speciellt projekt så skulle projektets brottbenägenhet kunna bedömas. Pugsley ansåg att detta ej skulle, eller kunde, lösas matematiskt. Följaktligen ville han undvika sannolikhetsvärden och matematik. Istället infördes ett klassningsdiagram för bedömning av brottbenägenheten. I Pugsley's metod ska några (3-5 st) erfarna personer bedöma fyra olika parametrar. Parametrarnas betydelse för olycksrisken ska ges ett värde b, m eller d. Där b = bra och m = medel samt d = dålig. De fyra olika parametrarna, som är en sammanslagning av de tidigare 8 nämnda, är:

- A Nya material eller ny tillverkningsmetod
- B Ny konstruktionstyp eller ny monteringsmetod
- C Yrkesmässiga och industriella bakgrunder och klimat
- D Finansiellt och politiskt klimat

Med hjälp av ett diagram, se FIG 3.5, bestäms ett läge som anger graden av osäkerhet.

Om man hamnar inom det osäkra området så kan några av de osäkra parametrarna uteslutas, till exempel nytt material, och/eller noggrann kontroll föreskrivas. Eventuellt räcker det med en noggrannare analys och utredning som kan ge upphov till en annan bedömning. Att metoden är subjektiv är uppenbart. I många fall kan sådana här enkla metoder ändå identifiera riskerna bättre än sofistikerade sannolikheteoretiska beräkningar. Detta beror på att man i de enkla metoderna tar tillvara all väsentlig information även om denna är knapphändig och subjektiv.

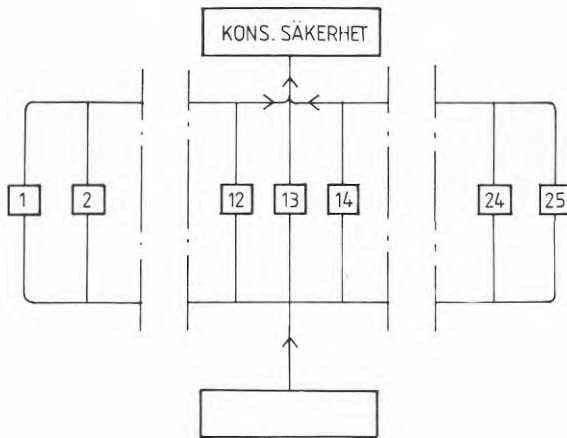


Figur 3.5 Klassningsdiagram föreslaget av Pugsley, 1973

Blockley, 1977, fortsatte i Pugsley's spår och han identifierade 25 parametrar som är av betydelse för en konstruktions brottbenägenhet. Dessa skall vid en bedömning ges ett värde 1-5 och ett värde A-E enligt:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1 = mycket hög trolighet | A = av mycket låg vikt |
| 2 = hög trolighet | B = av låg vikt |
| 3 = medium trolighet | C = av medium vikt |
| 4 = låg trolighet | D = av hög vikt |
| 5 = mycket låg trolighet | E = av mycket hög vikt |

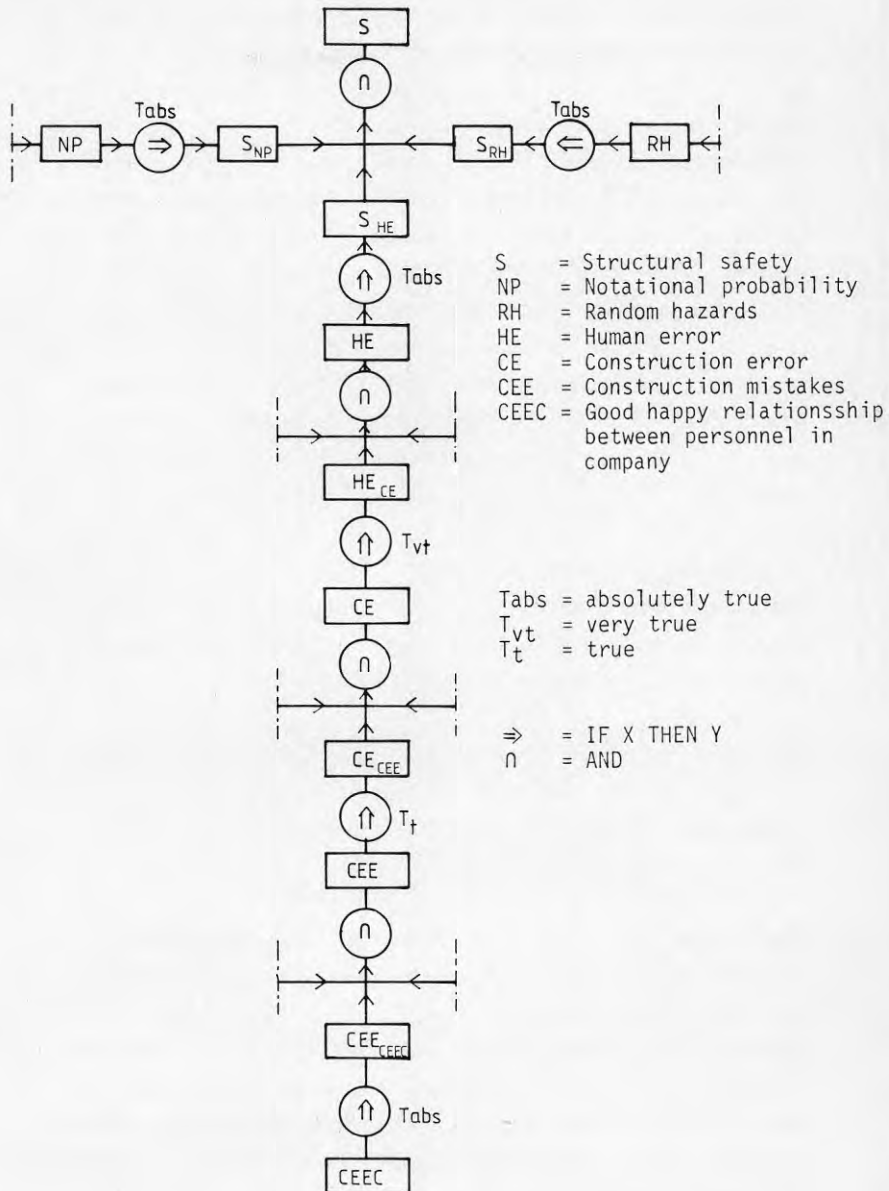
Blockley, 1977, föreslog att dessa värden skulle utvärderas med användandet av diffusa mängder. Den modell som detta skulle baseras på redovisades emellertid inte. Denna kan dock identifieras baserad på ett antal faktorer som redovisades i de efterföljande beräkningarna (Andersson, 1982). En enkel modell som uppfyller dessa faktorer är en parallellmodell, se FIG 3.6. Som kan utläsas så är säkerheten lika beroende av alla 25 parametrarna och dessa är inte beroende av varandra.



Figur 3.6 Parallell modell för säkerhetsvärdering

Denna enkla modell kan dock inte på ett adekvat sätt representera det system som analyseras, oavsett typ av applicerad kvantitativ metodik. Följaktligen så är modellen i Blockley, 1981, mycket mer förfinad och genomtänkt, se FIG 3.7. Därmed är vi efter utläggningen om brottbenägenhetsbegreppet tillbaka till diskussionen om den metodik som redovisas i Blockley, 1981. Med en representativ och explicit redovisad modell är det därmed lättare att välja kvantitativ metodik. Den metodik som Blockley föreslår är, som tidigare nämndes, baserad på diffus logik.

Man börjar med ett påstående om att den konstruktion som ska analyseras är helt säker. Genom att utföra en analys med en värdering av bashändelserna kan man bestrida detta påstående eller, alternativt, så erhålles ingen begränsning av påståendet.



Figur 3.7 En gren av Blockley's, 1981, föreslagna modell av säkerheten

Observera att påståendet inte kan verifieras. För att erhålla sanningsvärdet, som blir en kurva i sanningsrummet enligt FIG 3.3, består Blockley's modell av en logisk hierarki enligt FIG 3.7. Slutmålet är den totala säkerheten, S, som är sammansatt av "Human errors", HE, "Notational probability", NP, och "Random Hazards", RH. Dessa återfinns längst uppe i figuren och är i sin tur sammansatta av händelser som i sin tur är sammansatta o s v. Slutligen erhålles händelser som utgör bashändelser, det vill säga händelser som det ska åsättas värden för. Längst ner finns till exempel CEEC, "good happy relationship between personnel in company". Blockley arbetar med tre huvudoperatorer, AND, OR och \Rightarrow (IF X THEN Y) och med sanningshalter för \Rightarrow , τ . Dessa väljs som absolut sant, τ_{abs} , mycket sant, τ_{vt} , sant, τ_t , eller ganska sant, τ_{ft} . Om man betraktar överdelen i FIG 3.7 kan detta skrivas som:

IF en konstruktion är helt säker S THEN att den har låg sannolikhet mot brott NP är absolut sant AND att den har låg sannolikhet för grova fel HE är absolut sant AND att den har låg sannolikhet för katastroflaster RH är absolut sant.

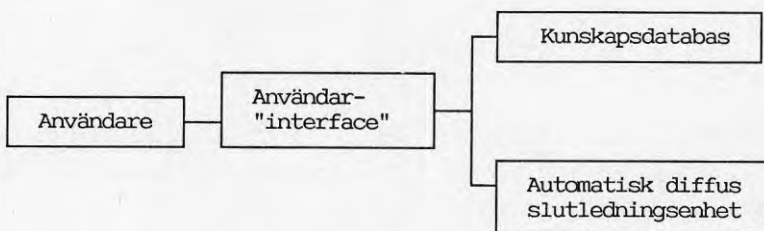
På motsvarande sätt kan hela den logiska strukturen enligt FIG 3.7 beskrivas och där slut- och delresultaten redovisas i sanningsrummet. Blockley's hela hierarkiska struktur redovisas i Blockley, 1981.

Även om metoden och tillämpningen har många intressanta inslag så är förfaringssättet inte helt invändningsfritt. Språkligt kan man invända mot termer av typen "absolut sant". Detta har också Blockley tagit fasta på och han har bytt "truth" och "false" mot "dependable" och "undependable". Vidare så kan invändas mot motiven för att utföra en analys av en hel konstruktions brottbenägenhet. Även om man för en sådan komplex tillämpning ändå kan få fram något värde utan alltför stor osäkerhet så återstår frågan vad man ska göra med detta värde. Eftersom värdet onekligen är präglad av subjektiva inslag så kan det inte användas för att påvisa att säkerheten är tillfredsställande, det vill säga att det understiger ett givet specificerat gränsvärde. Ej heller bör det användas till en direkt jämförelse med andra konstruktioner.

Vad som återstår är möjligheten att identifiera svaga länkar och att försöka lokalisera lämpliga kontrollpunkter. Det är dock tveksamt om detta låter sig göras på hela det komplexa system som påverkar en konstruktions säkerhet. Bättre är nog att utföra analyser på väl avgränsade delsystem, till exempel genom en analys av processen med resning av den bärande stommen eller en analys av dimensioneringen av grundplattan. Det är på dessa mindre delsystem som man mer konkret kan föreslå motåtgärder i form av ändrad procedur eller genom att föreslå en kontroll vid ett givet läge och riktat mot en speciell händelse.

En vidareutveckling och en generalisering av ovanstående arbete har fört över Blockley till expertsystem och artificiell intelligens. Det system som han använder går under benämningen FRIL (fuzzy relational inference language), Blockley, 1984. Det som kännetecknar FRIL är att man efter det att man har givit systemets kunskapsdatabas grundläggande regler och data för en aktuell applikation så kan man via ett speciellt frågesystem få svar på relativt godtyckliga frågor med anknytning till den aktuella applikationen.

Systemet visas schematiskt i FIG 3.8. För varje ny applikation måste kunskapsdatabasen förändras medan den automatiska slutledningsenheten är oberoende av problemets natur. Denna sistnämnda enhet behandlar olika operatorer såsom OCH, ELLER och => med dess sanningshalter, τ . Den utför även en uppdelning i delresultat om så krävs för att kunna svara på den aktuella frågan.



Figur 3.8 Schematisk bild av FRIL

De frågor som kan ställas är frågor av typen VILKA som uppfyller VILLKOR, till exempel vilka konstruktioner är säkra och ekonomiska, och frågor av typen ÄR x sant, till exempel är en säker konstruktion ekonomisk. Svaret på frågorna om VILKA ges av FRIL på samma sätt som man har definierat grundläggande data i kunskapsdatabasen, det vill säga med värden och motsvarande sanningsvärden. En ÄR fråga besvaras med ett enstaka värde, ett värde som motsvarar det maximala sanningsvärdet.

FRIL illustreras kanske bäst genom ett exempel. Det exempel som ges nedan avser dock inte en realistisk applikation utan avsikten är istället att visa på FRIL's principiella utformning. För mer realistiska exempel krävs att den kvalitativa modellen är genomtänkt och hierarkiskt strukturerad. Modellen avspeglas i FRIL genom att hierarkin beskrivs i kunskapsdatabasen genom utnyttjande av de tillgängliga operatörerna. Detta innebär att det åtgår en relativt lång tid innan den kvantitativa utvärderingen kan påbörjas genom utnyttjande av FRIL's generella frågesystem. Denna generalitet innebär dock en stor frihet, och flexibilitet, för den kvantitativa utvärderingen. Observera också att exemplet nedan är mycket enkelt och saknar hierarkisk struktur.

Antag att vi har 4 olika jämförbara konstruktioner K1-K4 och där vi vet konstruktionernas aktuella säkerhetsfaktor och totala kostnad per ytenhet. Termen kvalite är en kombination av säkerhetsfaktor och kostnad och är för K1-K4 uppfyllt enligt:

Kvalite	Namn	S.F	Kostnad	τ
	K1	1,3	7	0,5
	K2	1,5	6	0,8
	K3	1,5	5	1,0
	K4	1,7	9	0,6

Detta innebär, till exempel, att K2 har sanningsvärdet 0.8 med avseende på termen kvalite. För vårt exempel är ytterligare två termer definierade, nämligen termerna säker och ekonomisk, enligt:

Säker	S.F.	τ
	1,1	0,1
	1,3	0,3
	1,5	0,8
	1,7	1,0
	2,0	1,0

Ekonomisk	Kostnad	τ
	5	1,0
	6	0,9
	7	0,5
	8	0,3
	9	0,1

Efter att dessa termer har definierats i FRIL kan man ställa frågor som:

Vilka konstruktioner är osäkra ?

Detta skrivs mer formellt:

VILKA [x, (INTE SÄKER(y) OCH KVALITE(x,y,z))]

Svaret från FRIL är:

Namn	τ
K1	0,5
K2	0,2
K3	0,2

D4 nämns ej eftersom sanningsvärdet = 0. En annan möjlig fråga är:

Vilka konstruktioner är säkra men inte ekonomiska ?

och besvaras med:

Namn	τ
K1	0,3
K2	0,1
K4	0,6

Av ovanstående framgår att FRIL bör kunna utnyttjas för riskanalys. Systemet är dock generellt och kan likaväl utnyttjas för andra ändamål. Det ska dock påpekas att FRIL endast underlättar den kvantitativa utvärderingen, den kvalitativa modellen måste ställas upp av användaren. Ett krav är att modellen ska lämpa sig för att utvärderas med diffus logik.

En nackdel med FRIL är att osäkerheter i modell och data inte automatiskt beaktas av systemet. För diffusa modeller bör nog detta alltid beaktas, en synpunkt som kommer att diskuteras vidare i kapitel 4.

En annan som också sedan länge har forskat om diffusa mängder och som under senare år har engagerats sig i utvecklingen av expertsystem är James Yao. Han har hela tiden främst varit inriktad på skadebedömning (damage assesment) speciellt med avseende på bedömningar efter en jordbävning. Vad gäller diffusa mängder är det först i samband med expertsystem som Yao's forskning blivit riktigt intressant.

Yao hävdar att utvärderingen av tillgängliga data vid en skadebedömning bör baseras på teorin om diffusa mängder. Visserligen finns det viss information som är mätbar eller kvantifierbar, till exempel genom en mätning av konstruktionens egenfrekvens, men en mycket väsentlig del av en bedömning utgörs av subjektiv och knapphändig information, till exempel inverkan och omfattningen av befintlig sprickbildning. Detta har inneburit att det har saknats generella matematiska metoder för att utföra en skadebedömning. Yao tror att det nu kan bli möjligt att skapa lämpliga metoder i och med utvecklingen av metoder som använder sig av diffusa mängder.

Det system som Yao förespråkar benämns SPERIL (SPERIL-I, Ishizuka et al, 1982, och SPERIL-II, Ogawa et al, 1985).

Betraktat som expertsystem är SPERIL inte alls lika flexibelt och kraftfullt som FRIL. Detta eftersom SPERIL inte kan ge svar på godtyckliga frågor utan endast ger svar på en given inprogrammerad fråga, som för SPERIL-I avser en total skadebedömning av en analyserad och undersökt konstruktion. Detta svar baseras på inprogrammerade regler, som representerar modellen, och på svar på frågor som SPERIL ställer till användaren.

Detta innebär att SPERIL kanske inte kan betraktas som ett renodlat expertsystem. Det som kan sägas skilja SPERIL åt från vanliga riskanalytiska modeller är att SPERIL endast ställer de frågor som behövs och att modellen är generell, och därmed ej förändras för varje konstruktion som ska analyseras. Detta innebär att SPERIL ska motsvara en expert på skadebedömningar och kunna anlitas av användare som saknar expertens erfarenhet och kompetens. Som kommer att diskuteras nedan så ställer detta stora krav på SPERIL i fråga om generalitet och tillämpbarhet.

De regler som används baseras på operatorerna AND och OR, som representeras av MIN och MAX, samt på en operator som benämns COMB. Denna avser en kombination av olika händelser som oberoende medför att en hierarkiskt högre placerad händelse inträffar. Skillnaden mellan COMB och OR ligger i att OR utvärderas med MAX och därmed representerar den möjligaste händelsen medan COMB utvärderas med Shafer's sannolikheter och därmed medför en interaktion, kombination, av alla till händelsen kopplade underliggande händelser.

Shafer's sannolikhetsmått skiljer på övre och undre sannolikheter som ibland, alternativt, benämns "belief functions and plausibility measures". Dessa sannolikheter sägs motsvara konservativa respektive optimistiska värden. Sannolikheterna används för subjektiv och ej komplett information och innebär därmed ett alternativ till bayesianska sannolikheter men även till möjlighetsteorin. Det som utmärker Shafer's sannolikheter är att det inte ställs något krav på fullständig information, det vill säga det krävs inte att $P(A) + P(\bar{A}) \equiv 1$. Detta innebär att bristande information på ett enkelt sätt kan inkorporeras i beräkningsmodellen.

De regler som definieras i SPERIL är av typen:

```
IF X THEN Y WITH C
```

där C avser ett värde för ett osäkerhetsmått, vilket i SPERIL avser Shafer's undre sannolikheter.

Vissa data kan ges lingvistiskt som sedan med hjälp av diffusa mängder omvandlas till numeriska data. Resultatet från SPERIL-I uttrycks också lingvistiskt i form av ett av alternativen:

- ingen skada
- liten skada
- begränsad skada
- stor skada
- förödande skada
- inget lämpligt svar

Som exempel på en regel kan regel 0201 i SPERIL-I ges:

Rule 0201

```
IF      : MAT is reinforced concrete
THEN IF : STI is destructive
THEN    : GLO destructive 0.6      MAT= material of structure
ELSE IF : STI is severe             STI= damage of stiffness
THEN    : GLO severe 0.6           GLO= damage of global
ELSE IF : STI is moderate          nature
THEN    : GLO moderate 0.6
ELSE IF : STI is slight
THEN    : GLO slight 0.6
ELSE IF : STI is no
THEN    : GLO no 0.6
ELSE   : GLO unknown 1.0
```

Denna regel innebär således att om materialet är betong så medför en skada som berör konstruktionens styvhet att denna, oavsett skadans omfattning, medför en lika stor skada på det totala systemet med den undre sannolikheten 0.6. Observera också att GLO (den totala skadan) kan vara okänd om denna enbart baseras på regel 0201.

Trots att det har presenterats åtskilliga artiklar om SPERIL så saknas det reella exempel på tillämpningar och på genomräknade exempel. Dessutom så saknas det en allmän diskussion om hur operatorerna ska väljas och vilka för- respektive nackdelar som applicerandet av dessa medför. Detta innebär att det för en utomstående kan vara svårt att ge en rättvis bedömning av SPERIL.

Det framgår dock klart att reglerna är avsedda att vara så allmängiltiga att för en skadebedömning behöver man bara svara på de frågor som SPERIL ställer. Frågan är emellertid om detta låter sig göras och om inte modellen, det vill säga reglerna, behöver förändras varje gång. Skillnaden mellan olika konstruktionstyper och material är nog för stora för att kunna representeras av en enstaka modell.

Yao kommer ifrån USA men har presenterat många artiklar tillsammans med japanska forskare, till exempel tillsammans med Hitoshi Furuta. Denne japan är en av de aktivaste inom den ständigt växande skaran av japanska forskare som forskar om diffusa mängders tillämpning inom byggnadsindustrin.

Bland de artiklar som har presenterats är i föreliggande sammanhang Furuta & Shiraishi, 1984, av störst intresse. Detta eftersom den avser en tillämpning av diffusa mängder inom riskanalysen. Mer specifikt föreslår de en utvärdering av felträd med diffusa mängder, istället för den traditionella sannolikhetsbaserade utvärderingen.

De föreslår att ELLER-grindar ska utvärderas med MAX och OCH-grindar med MIN, vilket de hävdar ger en snabbare och enklare utvärdering förutom det faktum att kunskapsunderlaget vad gäller säkerhetsanalys inom byggnadsindustrin är för begränsat för en sannolikhetsbaserad utvärdering. Varje primär händelse ska åsättas två värden, ett vad avser händelsens möjlighet och ett vad avser händelsens vikt. Med händelsens vikt avses att inkorporera en diffus faktor som motsvarar händelsens inverkan på ovanliggande händelse. Motsvarande förfarande med åsättande av möjlighet och vikt har använts av, till exempel, Blockley, 1977. Blockley föreslog faktorererna 1-5 och A-E, jämför diskussionen om

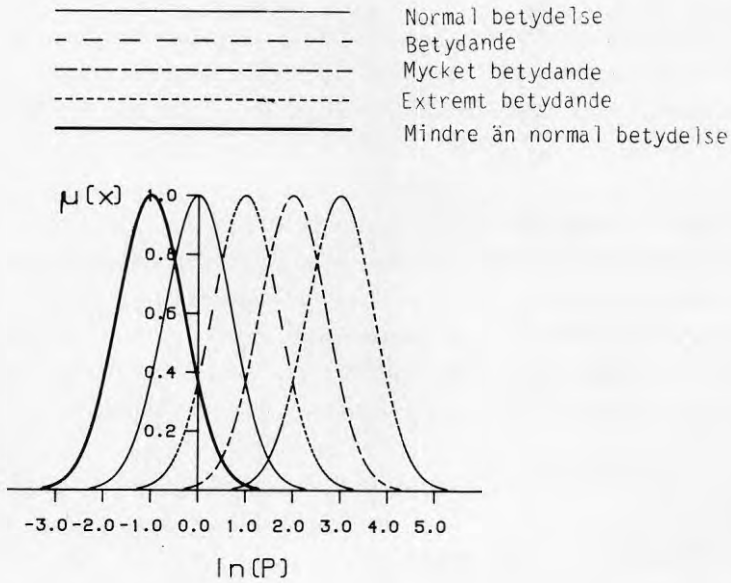
Blockley's forskning tidigare i detta avsnitt.

Det är, förutom att utvärdera möjligheten för topphändelsen, av stor vikt att utvärdera inverkan av de olika primära händelserna. Detta för att man ska kunna motverka och identifiera de allvarligaste händelserna. För att åstadkomma detta introducerar Furuta & Shiraishi begreppet diffus betydelse (fuzzy importance). Denna betydelse utvärderas avseende på inverkan om händelsens möjlighet sätts till extremvärdena 0 eller 1.

Detta kan vara ett rimligt angreppssätt men i ett redovisat exempel, som avser brottbenägenhet, blir den diffusa betydelsen noll både för "design error" och "construction error" men inte för, till exempel, "political pressure". Detta stämmer ju inte alls med verkligheten, jämför betydelsen av grova fel enligt avsnitt 2.2, och vid ett närmare studium finner man att orsaken till att de erhåller dessa värden beror på ett besynnerligt konstruerat felträd. Anledningen till att detta påpekas här är inte att falsifiera Furuta och Shiraishi's metod utan istället att, återigen, betona vikten av den kvalitativa modellen. Trots möjligheten med diffusa mängder i den kvantitativa utvärderingen så är arbetet med den kvalitativa modellen viktigast. Vad avser riskanalys är detta inte helt generellt men näst intill !

Eftersom det i kapitel 4 ska redovisas ett alternativt angreppssätt till att utnyttja diffusa mängder i kombination med felträd så ska inte Furuta och Shiraishi's metod kommenteras vidare i detta avsnitt.

I kapitel 4 ska också ges ett exempel på beslutsfattande. Närmare specificerat avses en sammanjämkning av subjektiva värderingar, en sammanjämkning som utförs med diffusa mängder. Idén för detta presenterades först av Elms, 1984. Den metodik som Elms föreslog kan dock ifrågasättas enär den bitvis är inkonsekvent. Detta kommer att diskuteras vidare i kapitel 4 medan föreliggande avsnitt avser att ge en kort beskrivning av den metod som Elms föreslog.



Figur 3.9 Diffus mängd för betydelse

I de Nya Zeeländska normerna gäller för jordbävningslast att:

$$\phi U^* = \gamma_D D^* + \gamma_C L^* + R \gamma_E E^*$$

där U^* , D^* , L^* och E^* är nominella värden på bärförmåga, ständig last, rörlig last och jordbävningslast. ϕ är en reduktionsfaktor, γ är lastfaktorer och R är en riskfaktor.

Med hjälp av vissa förenklingar och Cornell's säkerhetsindex (β -metod, jämför avsnitt 2.3) kan ekvationen för R förenklas enligt:

$$R = 1.0 + 0.45 \log P$$

där P benämns tillförlitlighetsfaktor. Elms föreslog att P kan bestämmas genom lingvistiska åsättanden av olika berörda parter. Eftersom dessa värden ska ges lingvistiskt och dessutom bör ges olika vikt, beroende på vem som har åsatt respektive värde, måste en metodik framtas för hur olika åsättanden kan sammanjämkas till ett värde.

Elms föreslog att för att bestämma P för en given konstruktion ska man ge ett lingvistiskt värde som avser konstruktionens betydelse. Detta värde modelleras med diffusa mängder enligt FIG 3.9.

För att ta hänsyn till vikten av varje åsättande, som beror på vem som har åsatt värdet, ska den diffusa mängden enligt ovan modifieras enligt en parameter "grad av signifikans". Till exempel har ett åsättande av en borgmästare högre grad av signifikans än ett åsättande av en konstruktör. Elms föreslog att den diffusa mängden för betydelsen skulle modifieras enligt:

$$\mu_M(x) = \mu_B(x)^\alpha$$

och med tänkbara grader enligt:

Grad av signifikans	α
Inte signifikant	0,5
signifikant	1,0
Mycket signifikant	1,5
Extremt signifikant	2,0

De olika diffusa mängderna, för varje åsättande och modifierade med hänsyn tagen till graden av signifikans, ska sedan kombineras till en diffus mängd. För detta föreslog Elms:

$$\mu_K = \mu_{M1} * \mu_{M2} * \mu_{M3} * \dots * \mu_{Mn}$$

där * avser den svaga operatorm för snitt, jämför avsnitt 3.2.1. Slutligen väljs aktuellt P som det värde som har högst $\mu_K(P)$.

Inom parentes ska även nämnas att Elms även föreslog en uppdelning i olika faser, till exempel restuareringsfasen efter en

jordbävning. Detta förändrar dock inte den generella beskrivningen ovan. Exempel på denna metodik ges först i kapitel 4 där Elms föreslagna metodik kommer att jämföras med en alternativ metodik baserad på diffus medelvärdesbildning.

Översikten ovan om föreslagna metoder för applicerandet av teorin om diffusa mängder inom riskanalys och beslutsfattande har bitvis varit ganska kritisk och påpekat vissa brister i de föreslagna idéerna. Detta trots att endast de intressantaste idéerna har omnämnts. Avsikten med detta har inte varit att framställa dessa idéer och metoder i dålig dager utan istället att genom en konstruktiv kritik påpeka vad som kan tänkas behöva modifieras. Trots allt är metoderna som helhet beaktade/accepterade av författaren, även om man kan ha olika åsikter rörande detaljer och val av operatorer. Detta är bara naturligt, speciellt för en så ung och relativt oprövad teori som teorin om diffusa mängder.

Faktum är att uppfinningsrikedomen avseende metoder och applikationer är imponerande och lär innebära att slutet av 80-talet blir det verkliga genombrottet för diffusa mängder inom byggnadsindustrin.

4 EXEMPEL PÅ NYA METODER

I detta kapitel ska presenteras 3 olika nya metoder för riskanalys och beslutsfattande. Dessa har framtagits inom ett forskningsprojekt med syfte att undersöka och finna nya metoder, baserade på teorin om diffusa mängder, som kan vara lämpliga för byggnadsindustrin. Metoderna har delvis haft olika inriktning och mål. De har jämförts och bedömts beträffande lämplighet i olika avseenden. Dessa bedömningar har gällt på den grundläggande teorin, metodernas användbarhet och resultatet av applicerade exempel. Bedömningarna ska dock ej föregå presentationen och kommer följaktligen först att presenteras i samband med varje exempel och sammanfattningsvis i kapitel 5, Slutsatser.

Översikten över nya metoder inom byggnadsindustrin i avsnitt 3.4.2 innefattade en del frågetecken och kritiska synpunkter. Detta är även avsikten med föreliggande kapitel. Helt naturligt är denna kritiska granskning varken komplett eller speciellt objektiv eftersom det är lättare att finna tveksamheter i andras verk än sina egna. Författaren överlåter således den slutliga bedömningen till andra berörda forskare men kanske främst till läsaren.

Även om exemplen i grunden är olika så finns det flera gemensamma nämnare. I samtliga utnyttjas subjektiva lingvistiska åsättanden som representeras numeriskt med diffusa mängder. De operatorer som utnyttjas är de utvidgade operatorerna eftersom dessa, i enlighet med avsnitt 3.2.1, är lämpade att modellera lingvistiska värden.

Dessutom åtföljs i exemplen varje åsättande av ett åsättande av graden av kunskap, eller informationsinnehåll, för detta åsättande. Detta har bedömts som väsentligt eftersom varje användningsområde avser tillvaratagande av subjektiv icke komplett information, vilket även medför att informationsinnehållet kan variera inom en och samma analys. På detta sätt modelleras åsättarens osäkerhet och bristande kunskapsunderlag som också, vilket

ska visas i exemplen, avspeglas i det slutliga resultatet. Om detta resultat är för diffust, det vill säga resultatet har för höga värden på μ inom ett brett område, så påvisar detta att det existerar ett begränsat informationsinnehåll för minst ett kritiskt åsättande. Genom att närmare analysera dessa åsättanden kan informationen kompletteras vilket resulterar i ett mindre diffust, och därmed mer entydigt, resultat. Om, å andra sidan, modellerna inte innefattar åsättanden av graden av kunskap kan resultaten bli något missvisande och man erhåller ingen uppfattning om informationsinnehållet är tillfredsställande eller ej.

Metoderna och deras tillämpningsområden baseras på diskussionen om vad som bör gälla för riskanalys inom byggnadsindustrin enligt kapitel 2.3, men även med hänsyn till diffusa mängder och möjlighetsteorins speciella egenskaper enligt avsnitt 3.3. Följaktligen, metoderna avser humanistiska system med dess inneboende begränsade informationsinnehåll och föreslås utvärderas med möjlighetsteorin och med diffusa mängder. Ändamålen, speciellt för exemplet i avsnitt 4.1, är att försöka förbättra det analyserade systemet och att identifiera svaga länkar eller bristfälligt informationsinnehåll. Metoderna är subjektiva vilket innebär att dessa måste behandlas som sådana, de avser inte att presentera några absoluta sanningar och kan därmed ej användas för att påvisa att ett system är tillräckligt säkert och tillförlitligt.

4.1 Riskindikation

4.1.1 Metodbeskrivning

Riskindikation är en ny metod som baserad på traditionella metoder, främst felträdsanalys, avses ge en indikation på riskerna i ett system och att påvisa systemets svaga länkar. Avsikten är också att, i viss mån, försöka att optimera insatta kontrollinsatser.

Metoden har givits en teoretisk beskrivning kompletterad med ett

exempel i Andersson, 1985. Målsättningen i föreliggande avsnitt är mindre ambitiös och avser att ge en förståelse för metoden och att genom ett exempel påvisa vad man kan få ut av en analys.

Riskindikation kan uppdelas i 6 olika steg:

- Steg 1: Riskidentifikation
- Steg 2: Modellbestämning (modifierat felträd)
- Steg 3: Möjlighetsvärdering
- Steg 4: Möjlighetsberäkning
- Steg 5: Utvärdering
- Steg 6: Erfarenhetsåterföring

I det första steget ska alla möjliga och "omöjliga" felkällor identifieras. För att inte missa några felkällor av betydelse är det viktigt att arbetet bedrivs systematiskt. Bäst är nog att utnyttja en induktiv teknik, jämför avsnitt 2.1, varav felmods och effektanalys (FMEA) kan vara en lämplig metod.

Detta steg har även syftet att göra den som utför analysen bekant med systemet. Notera att analysen bör utföras av någon som inte är ansvarig för vare sig utveckling eller drift av systemet vilket gäller för såväl riskanalys som för QA/QC, jämför avsnitt 2.2. I byggnadsindustriella sammanhang gäller att analysen inte bör utföras av projektens ansvariga eller handläggare. Att bli bekant med systemet avser således inte bara säkerhets och riskfaktorer utan även i mer allmän teknisk betydelse. Induktiv teknik, och då speciellt FMEA, är därmed speciellt lämpligt eftersom man behandlar olika delsystem för sig. Dessa avgränsade delsystem är lättare att sätta sig in i och att förstå än om hela systemets betraktas som en enhet.

Modellen, som utformas i nästa steg, baseras på riskidentifikationen. I riskidentifikationen ska alla riskfaktorer identifieras och det är i modellsteget som man bestämmer vilka av dessa som ska beaktas.

Modellen skapas via ett felträd, benämnt modifierat felträd eftersom felträdet avviker från traditionell metodik på ett flertal väsentliga punkter. Det finns flera olika orsaker till detta förfarande av vilka de väsentligaste ska omnämnas.

Felträdsanalys är baserad på deduktiv teknik, vilken bättre än induktiv teknik lämpar sig för en kvantitativ utvärdering av komplexa system. Främsta nackdelen med induktiva metoder är att det är svårt att bedöma effekten på det totala systemet av lokala händelser. Felträdsanalys har också blivit frekvent använt, och användningen ökar alltjämnt, inom de industrigrenar som systematiskt använder riskanalytiska metoder. Denna popularitet beror även på att ett felträd ger en systematisk, tydlig och relativt lättfattlig dokumentation av systemet, genom att den kvalitativa modellen redovisas grafiskt i felträdet. Trädet kan enkelt utökas eller modifieras vilket bara medför en lokal förändring som inte behöver radera hela modellen.

Felträd har dock främst utnyttjats för analys av mekaniska system, medan riskindikation främst är lämpad för en analys av humanistiska system. I enlighet med tidigare kapitel innebär detta att de väsentligaste modifieringarna av felträdstekniken avser den kvantitativa utvärderingen. Riskindikation är tänkt att vara applicerbar på system där den tillgängliga informationen är ofullständig och subjektiv. Detta innebär att informationen inte kan stödja en sannolikhetsteoretisk utvärdering. Istället föreslås en diffus, möjlighetsteoretisk utvärdering.

Även själva händelseklassificeringen avviker från traditionella felträd. I ett modifierat felträd skiljer man på två olika typer av händelser. Felkällor och händelser som kan medföra att topphändelsen inträffar tillhör den första typen och betecknas med X. Kontrollpunkter tillhör den andra typen och betecknas med Q. Q gäller för händelser som kan hindra, stoppa, inträffade fel, X-händelser, från att nå upp till topphändelsen.

Kombinationen av dessa olika typer modelleras med OCH-grindar eller med ELLER-grindar. Två eller flera X-händelser som var och en kan medföra att en ovanliggande händelse kan inträffa sammanbinds med en ELLER-grind. Denna ovanliggande händelse är också en X-händelse och avser topphändelsen eller en mellanliggande händelse. Om en X-händelse kombineras med en Q-händelse så mo-

delleras detta med en OCH-grind. Detta innebär att dels måste X-händelsen inträffa och dels måste Q-händelsen inträffa. Med inträffande av en Q-händelse avses händelsen att kontrollen misslyckas med att stoppa X-händelsens vidare spridning uppåt i trädet. En mellanliggande Q-händelse kan även kombineras av flera Q-händelser via en ELLER-grind, eftersom det ibland finns flera olika orsaker till att en kontroll kan misslyckas. Dessa kombinationer är de enda som existerar, alla andra är logiskt orimliga. Som kommer att diskuteras vidare nedan så utvärderas OCH-grindar med $\tilde{\text{MIN}}$ och ELLER-grindar med $\tilde{\text{MAX}}$.

Det är önskvärt att alla primära händelser är på ungefär samma nivå, det vill säga att trädets alla grenar har uppdelats i samma grad. Generellt sett blir resultatet inte noggrannare än vad den mest utvecklade grenen tillåter oberoende om de andra grenarna har förfinats i "det oändliga".

Det ska påpekas att ett felträd avspeglar en viss värdering, som representerar den som bestämmer, eller skapar, felträdet. Till skillnad från steg 1, som avser en förutsättningslös riskidentifikation, så beaktas bara de händelser som betraktas som väsentliga. Denna värdering baseras på erfarenheter från tidigare analyser men främst av allt på den utförda felmod och effektanalysen.

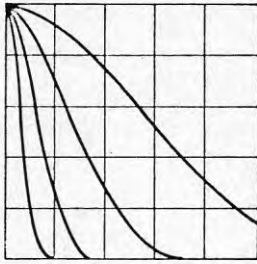
Denna värdering kompletteras med den huvudsakliga värderingen i steg 3, möjlighetsvärderingen. Denna avser åsättande av möjlighetsvärden för felträdets primära händelser. Inga åsättanden ska ges för de mellanliggande händelserna. De värden som ska åsättas avser möjligheten att den primära händelsen inträffar och graden av kunskap för detta möjlighetsvärde. Detta innebär att metoden tillåter, och tar hänsyn till, varierande kunskaps- och informationsinnehåll. Vanligtvis återspeglar detta verkligheten för subjektiv information. Vissa saker vet man säkert medan man bara har en diffus uppfattning om andra.

Kontrollpunkterna, Q-händelserna, ska möjlighetsvärderas som beroende händelser. För varje Q-händelse ska sålunda åsättas värden för möjligheten att kontrollen misslyckas med att identifiera en X-händelse givet att denna har inträffat. Att värdena ges som beroenden baseras på att det sannolikt är enklare att åsätta värden för kontrollpunkterna med avseende på ett givet fel än ett enstaka värde som ska gälla alla möjliga typer av fel. Detta eftersom olika kontrollinsatser avser att identifiera olika typer av fel.

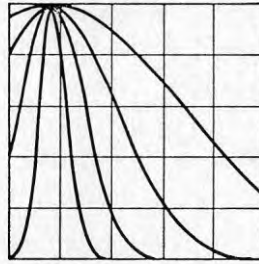
De möjlighetsvärden och värden för graden av kunskap som ska åsättas avges lingvistiskt. I FIG 4.1 redovisas de diffusa tal som i nedanstående exempel har använts för att numeriskt representera de lingvistiska värdena. Effekten av parametern graden av kunskap är att möjlighetsvärdet representeras av ett mer eller mindre diffust tal, vilket innebär att graden av kunskap fungerar som en modifierarfunktion, jämför avsnitt 3.2.1, på det diffusa talet för möjligheten.

Eftersom metoden använder lingvistiska åsättanden bör \widetilde{MAX} och \widetilde{MIN} föredras framför MAX och MIN, jämför diskussionen i avsnitt 3.2.3. Kontinuerliga funktioner, operatorena \widetilde{MAX} och \widetilde{MIN} samt ett stort antal grindar innebär att beräkningarna snabbt blir omfattande. Istället för att diskretisera funktionerna till ett fåtal värden, ett förfarande som inte alls är trivialt och som diskuteras i avsnitt 4.3, så har det för möjlighetsberäkningen - steg 4 - framtagits ett datorprogram för beräkning av modifierade felträäd, FFTREE (Olson, 1984). Programmet anger vilka händelser som det ska åsättas värden på och presenterar resultaten grafiskt som diffusa tal efter en utförd beräkning.

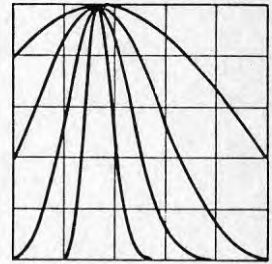
Det som ska beräknas är, givetvis, möjligheten för topphändelsen. Dessutom kan det finnas intresse att beräkna möjligheterna för vissa av de mellanliggande händelserna och, vilket ska visas i nedanstående exempel, att utföra beräkningar så att de primära händelserna kan rangordnas med avseende på risken för att topphändelsen inträffar.



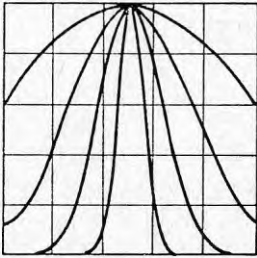
Absolut omöjligt



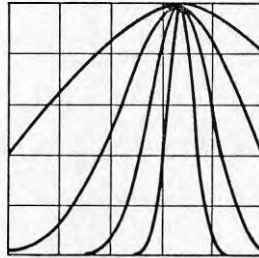
Nästan omöjligt



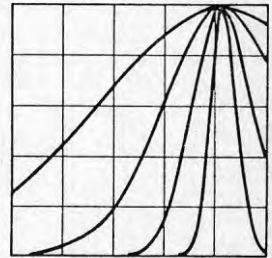
Låg möjlighet



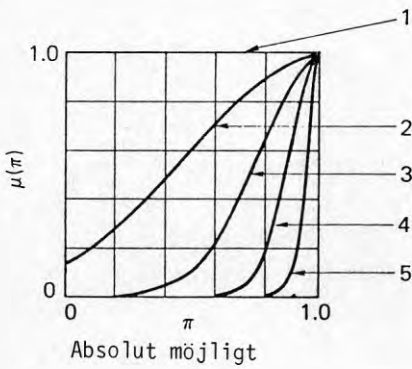
Möjligt



Hög möjlighet



Mycket hög möjlighet



Grad av kunskap:

- 1) Vet ej
- 2) Osäker
- 3) Varken säker eller osäker
- 4) Ganska säker
- 5) Absolut säker

Figur 4.1 Diffusa möjligheter och grad av kunskap

Utvärderingen i steg 5 kan också medföra att vissa kompletterande beräkningar behöver göras eller att påvisa att vissa delar av modellen och värderingarna behöver analyseras noggrannare. Detta kan behövas om, till exempel, de resulterande diffusa möjligheterna har för lågt informationsinnehåll.

Det är viktigt att utvärderingen baseras på förutsättningarna, det vill säga på modellen (felträdet) och på de antagna medlemskapsfunktionerna för de lingvistiska värderingarna. Resultaten av en utförd beräkning presenteras för närvarande grafiskt. Alternativt skulle dessa kunna presenteras lingvistiskt, med de alternativ som tillåts i de lingvistiska värderingarna enligt FIG 4.1. Det är dock inte trivialt hur man ska avgöra vilket alternativ som bäst representerar de resulterande diffusa mängderna.

Det sista steget, erfarenhetsåterföringen, är också viktigt även om man i många sammanhang ofta slarvar med detta. Anledningen är alltså oftast att tillgängliga tids- och kostnadsramar är överskridna. En väl utförd erfarenhetsåterföring underlättar dock skapandet av framtida modeller och kan också vara värdefull i utbildningssyfte.

4.1.2 Exempel

För att utvärdera metoden har en analys utförts på ett realistiskt exempel. Exemplet avser en riskanalys av en datorberäkning av en betongplatta. Denna beräkning utförs av en yngre konstruktör med hjälp av ett finit elementprogram. Analysen omfattar hela proceduren från bestämning av beräkningsmodell till och med presentationen av de dimensionerande momenten.

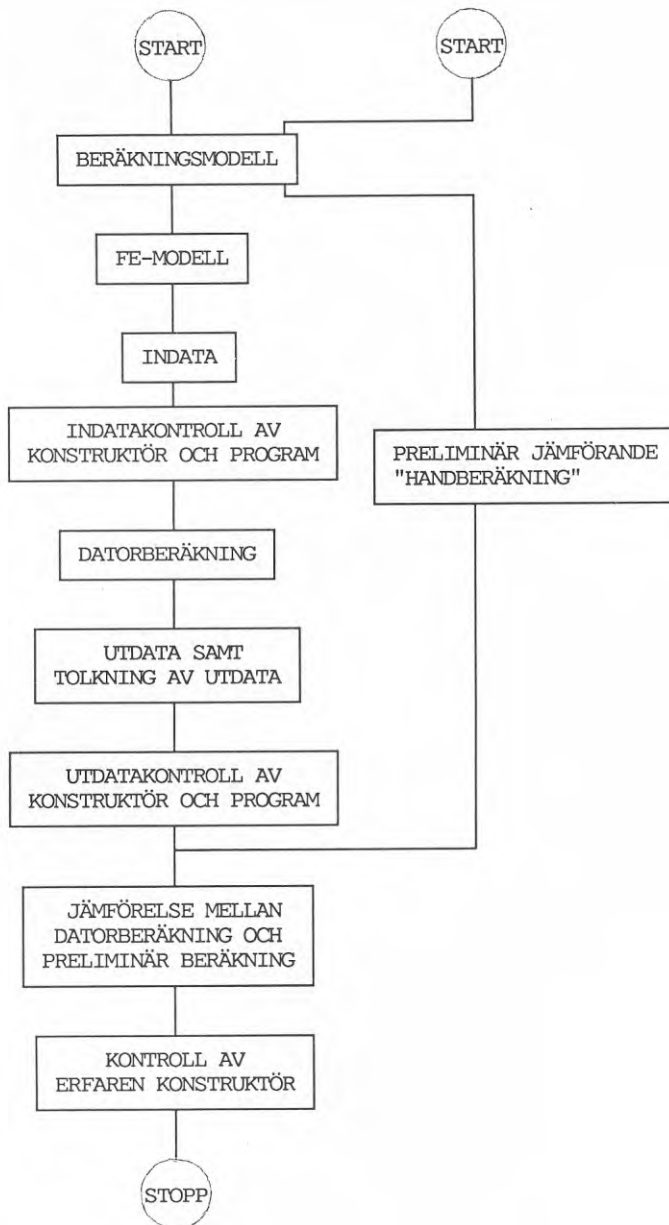
I föreliggande avsnitt ska redovisas ett relativt utförligt sammandrag av exemplet. För den kompletta beskrivningen hänvisas till Andersson, 1985.

Gällande förutsättningar:

- Beräkningen avser bestämning av dimensionerande böjmoment i en betongplatta.
- Geometri, materialegenskaper och belastning förutsätts vara kända och korrekta.
- Beräkningen kan klassificeras som rutinartad och utförs med ett kommersiellt medelstort finit element program.
- Konstruktören är en yngre konstruktör med viss erfarenhet men med relativt begränsad erfarenhet rörande finita elementberäkningar.
- Resultaten, böjmomenten, kontrolleras av en äldre erfaren konstruktör.
- Det råder inga anmärkningsvärda förhållanden vad avser tids eller kostnadspress.

I FIG 4.2 redovisas det system som ska analyseras, det vill säga figuren visar en bild av den normala beräkningsproceduren. Denna procedur innehåller olika steg och kontrollpunkter och FIG 4.2 utgör underlag för första steget i en riskindikation, nämligen den inledande riskidentifikationen.

Varje beräkningssteg i FIG 4.2 redovisas för sig i den utförda felmod och effektanalysen (FMEA). Tabell 2.2, sid 37, redovisar en resultatsida av analysen av det steg som avser indata. Som framgår av denna tabell så är riskerna, och speciellt upptäckten av dessa, starkt beroende av det datorprogram som används. På motsvarande sätt har också de övriga stegen analyserats och redovisats.



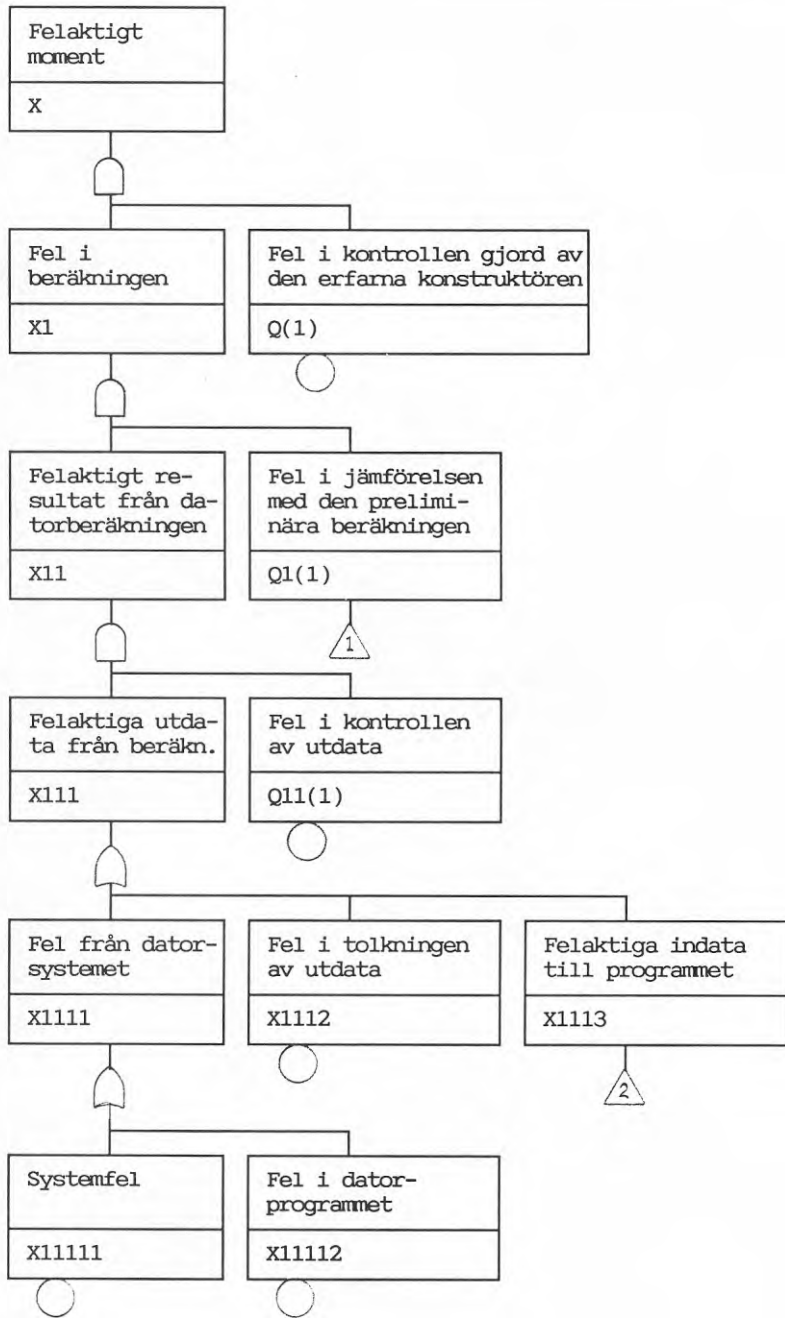
Figur 4.2 Schematisk bild av beräkningsproceduren

En utförd FMEA ger tillsammans med systembeskrivningen en indikation på riskfaktorer och beskriver även dessas inverkan på det totala systemet. Dessutom noteras hur riskfaktorerna kan kontrolleras och upptäckas.

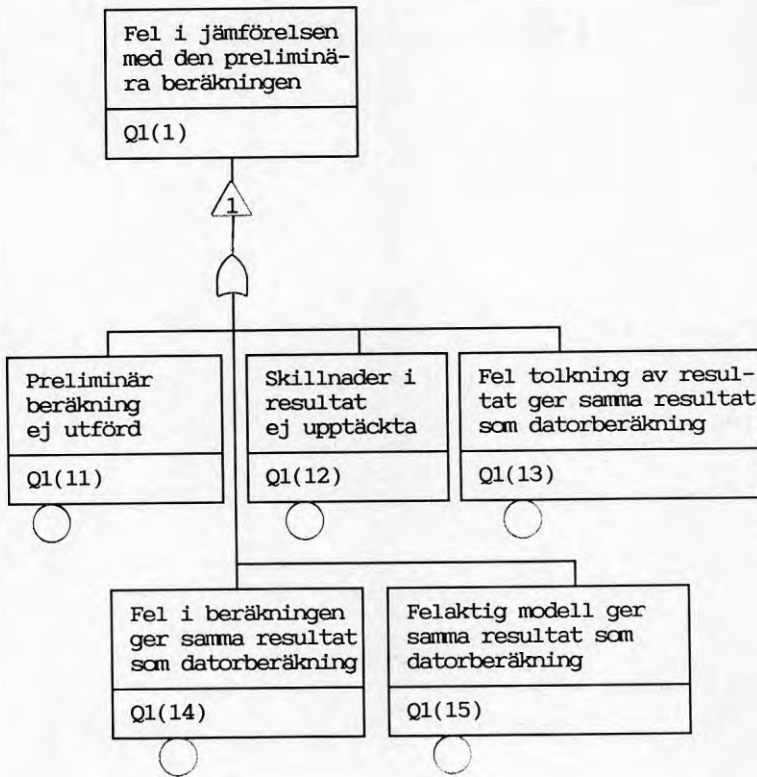
Informationen är nu tillräcklig för att konstruera felträdet. Detta skapas uppifrån och ned, det vill säga man börjar med att ställa sig frågan vad som kan medföra att topphändelsen (felaktigt böjmoment) kan inträffa. Detta inträffar om den utförda beräkningen är felaktig och den äldre erfarna konstruktören ej upptäcker detta, vilket är de två avslutande stegen i FIG 4.2. Därefter går man vidare och ställer sig frågan vad som kan medföra att beräkningen blir felaktig och så vidare. En kontroll med FMEA-tabellerna avslöjar om några riskfaktorer av betydelse saknas i det kompletta felträdet.

Det kompletta "modifierade felträdet" visas i FIG 4.3. Kontrollhändelserna beteckas med Q medan själva felhändelserna betecknas med X. Det återfinns 5 primära felhändelser som ska åsättas möjlighetsvärden. Dessutom återfinns 8 primära kontrollhändelser som alla ska åsättas möjlighetsvärden givet att någon av de primära felhändelserna har inträffat.

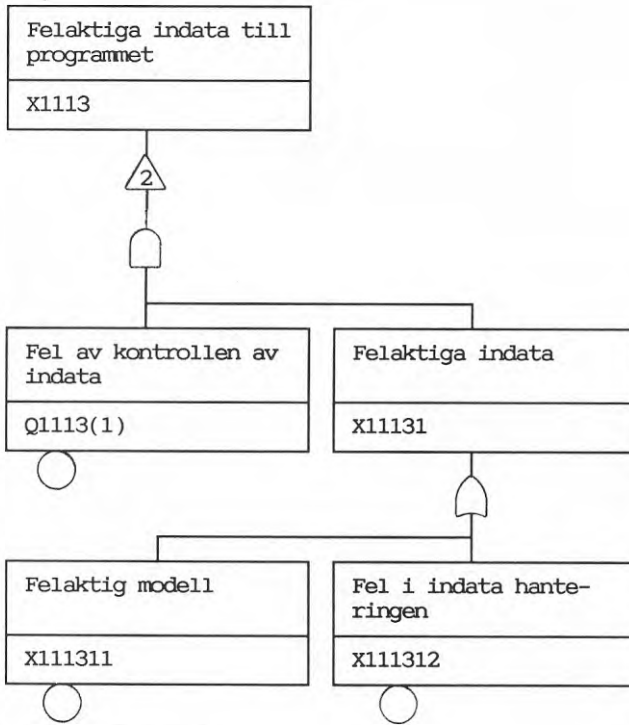
Innan dessa möjlighetsvärderingar presenteras ska det ges några allmänna kommentarer till felträdet i FIG 4.3. Som kan utläsas finns det flera kontrollpunkter men bara en som beaktar händelsen att kontrollen ej är utförd, nämligen jämförelsen med den preliminära beräkningen. Anledningen till detta är att man ofta försummar denna jämförelse, genom att ej utföra någon preliminär beräkning, emedan de andra kontrollpunkterna nog alltid utföres, om än med varierande noggrannhet. Därmed ska det påpekas, igen, att ett felträd ej kan innehålla alla möjliga händelser utan endast de väsentligaste kan inkluderas. Dessa händelser bestäms och utväljs av den som skapar felträdet.



Figur 4.3 Felträd



Figur 4.3 Felträd
(forts.)



Figur 4.3 Felträd
(forts.)

Felträdet i FIG 4.3 kan betraktas som ganska grovt och en förfining av detta hade varit möjligt att utföra. Eftersom det primära målet ändå var att uttesta metoden riskindikation är dock de primära händelserna på en tillräckligt fin nivå och en ytterligare förfining kan istället medföra att det kan bli svårare att bedöma lämpligheten med vald metodik för en riskindikation. Dessutom är uppdelningen tillräckligt fin för att vissa slutsatser angående riskerna i beräkningsproceduren ska kunna anges.

Tre erfarna ingenjörer, nedan refererade som A, B eller C, ombads utföra möjlighetsvärderingarna. De är alla väl insatta i datorstött konstruktionsarbete. A och B huvudsakligen har erhållit sin erfarenhet via programutveckling och forskningsverksamhet. Endast C har en gedigen praktisk erfarenhet. Trots denna skillnad ombads alla tre att ange värden på samtliga primära händelser, med möjlighetsvärden och värden på grad av kunskap enligt FIG 4.1. Resultatet av värderingarna redovisas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Exemplets möjlighetsvärderingar

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
Systemfel (X11111)	<u>D4</u>	<u>B4</u>	<u>B4</u>
Fel i datorprogrammet (X11112)	<u>C3</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>
Felaktig modell (X111311)	<u>D3</u>	<u>E3</u>	<u>D4</u>
Fel i indatahanteringen (X111312)	<u>F4</u>	<u>D2</u>	<u>E3</u>
Fel i tolkningen av utdata (X1112)	<u>D4</u>	<u>D2</u>	<u>D4</u>
Fel i kontrollen av indata (Q1113(1)) givet:			
Fel i indatahanteringen	<u>D3</u>	<u>E3</u>	<u>C4</u>
Felaktig modell	<u>F4</u>	<u>F3</u>	<u>D4</u>
Fel i kontrollen av utdata (Q11(1)) givet:			
Systemfel	<u>B4</u>	<u>B4</u>	<u>B3</u>
Fel i datorprogrammet	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>C3</u>
Felaktig modell	<u>F4</u>	<u>E4</u>	<u>D4</u>
Fel i indatahanteringen	<u>E3</u>	<u>D3</u>	<u>C3</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>C3</u>	<u>C2</u>	<u>D4</u>

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
Preliminär beräkning ej utförd (Q1(11)) givet:			
Systemfel	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>
Fel i datorprogrammet	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>
Felaktig modell	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>
Fel i indatahanteringen	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>

Skillnader i resultat ej upptäckta (Q1(12)) givet:

Systemfel	<u>B4</u>	<u>B4</u>	<u>B3</u>
Fel i datorprogrammet	<u>C3</u>	<u>C2</u>	<u>B3</u>
Felaktig modell	<u>C3</u>	<u>E4</u>	<u>B3</u>
Fel i indatahanteringen	<u>C3</u>	<u>C2</u>	<u>B3</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>C3</u>	<u>D2</u>	<u>B3</u>

Fel tolkning av resultat ger samma resultat som datorbehandling (Q1(13)) givet:

Systemfel	<u>B4</u>	<u>B4</u>	<u>B2</u>
Fel i datorprogrammet	<u>B3</u>	<u>C3</u>	<u>B2</u>
Felaktig modell	<u>B3</u>	<u>D3</u>	<u>B2</u>
Fel i indatahanteringen	<u>B3</u>	<u>C2</u>	<u>B2</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>D3</u>	<u>D2</u>	<u>C2</u>

Fel i beräkningen ger samma resultat som datorberäkning (Q1(14)) givet:

Systemfel	<u>B4</u>	<u>B4</u>	<u>B2</u>
Fel i datorprogrammet	<u>B3</u>	<u>B3</u>	<u>B2</u>
Felaktig modell	<u>B3</u>	<u>D3</u>	<u>C3</u>
Fel i indatahanteringen	<u>B3</u>	<u>C3</u>	<u>B2</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>B3</u>	<u>B3</u>	<u>B2</u>

Felaktig modell ger samma resultat som datorberäkning (Q1(15)) givet:

Systemfel	<u>B4</u>	<u>B4</u>	<u>B2</u>
Fel i datorprogrammet	<u>B3</u>	<u>B3</u>	<u>B2</u>
Felaktig modell	<u>F4</u>	<u>E3</u>	<u>C3</u>
Fel i indatahanteringen	<u>B3</u>	<u>C2</u>	<u>B2</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>B3</u>	<u>C2</u>	<u>B2</u>

Fel i kontrollen gjord av den erfarna konstruktören (Q(1)) givet:

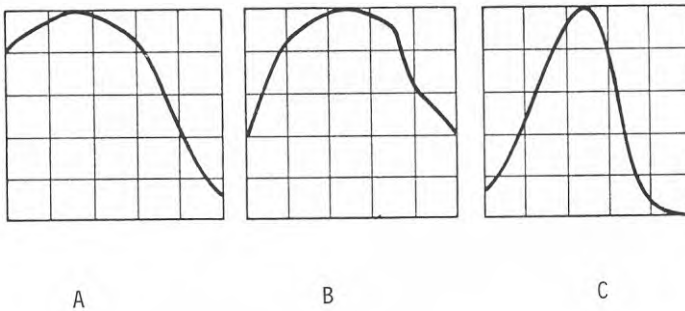
Systemfel	<u>B3</u>	<u>B4</u>	<u>E4</u>
Fel i datorprogrammet	<u>C2</u>	<u>D2</u>	<u>E4</u>
Felaktig modell	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>D4</u>
Fel i indatahanteringen	<u>C2</u>	<u>D2</u>	<u>E4</u>
Fel i tolkningen av utdata	<u>C2</u>	<u>D2</u>	<u>E4</u>

Nästa steg i en riskindikation utgörs av numeriska beräkningar. Dessa beräkningar utfördes av datorprogrammet FFTREE, Olson, 1984. Indata till programmet var felträdet logiska uppbyggnad och möjlighetsvärderingarna för de primära händelserna. Utdata var en grafisk presentation av möjligheten för den efterfrågade händelsen, vilket normalt var topphändelsen.

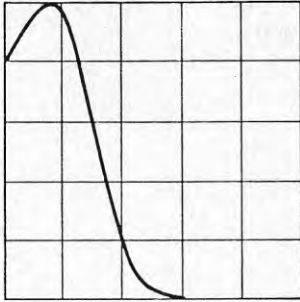
För att kunna utvärdera systemet, beräkningsprocessen i det aktuella exemplet, utfördes ett antal olika beräkningar. Dessa var även avsedda för att uttesta själva metoden. Beräkningarna kan indelas i 6 olika grupper. Resultaten av dessa presenteras i FIG 4.4-4.8 som alla förutsätts ha axlar och gradering enligt FIG 4.1.

- 1) Givetvis har möjligheten för topphändelsen beräknats. I FIG 4.4 presenteras denna för samtliga värderare, det vill säga för A, B och C.
- 2) För att avgöra vilka händelser som är mest kritiska med avseende på topphändelsen analyserades varje primär felhändelse för sig. Detta åstadkommes genom att bibehålla värderingen för en felhändelse i taget medan alla andra åsattes värdet A5, det vill säga absolut säkerhet på absolut omöjlighet. Detta redovisas i FIG 4.5
- 3) Som kommer att motiveras nedan så beräknades möjligheten för händelse X1, fel i beräkningen, enligt samma metodik som 2) men bara för värderare A och B, se FIG 4.6.
- 4) För att få en uppfattning om kontrollpunkternas betydelse så beräknades även möjligheten för vissa mellanliggande händelser. Dessa händelser är ju beroende av de flesta primära händelserna men påverkas bara av vissa av kontrollpunkterna. Som kan utläsas i FIG 4.7 var de händelser som det beräknades möjligheter för, förutom topphändelsen X, även händelserna X1, X11, X111 och X1113.

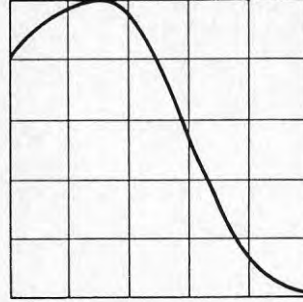
- 5) Kontrollpunkterna kan även analyseras separat på motsvarande sätt som de primära händelserna enligt punkt 2) ovan. I föreliggande fall bibehölls värderingen för kontrollpunkten i fråga medan de övriga åsattes värdet G5, det vill säga absolut säkerhet på absolut möjlighet. Dessa resultat återfinns i FIG 4.8.
- 6) Slutligen gjordes beräkningar för att utröna betydelsen av antagna medlemskapsfunktioner. I dessa beräkningar användes ej funktionerna i FIG 4.1. Rätlinjiga fördelningar användes istället för de tidigare använda klockformiga fördelningarna.



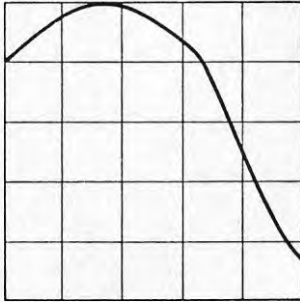
Figur 4.4 Möjlighetsvärden för topphändelsen



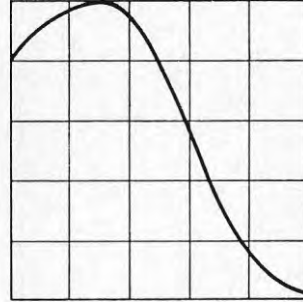
Toppändelsen givet bara X11111



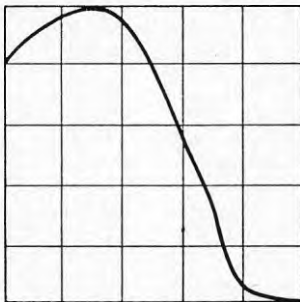
Toppändelsen givet bara X11112



Toppändelsen givet bara X111311



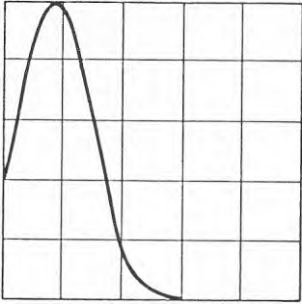
Toppändelsen givet bara X111312



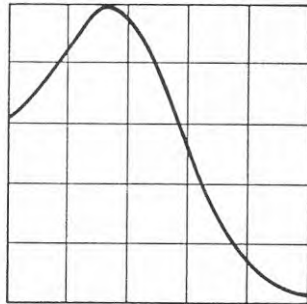
Toppändelsen givet bara X1112

a

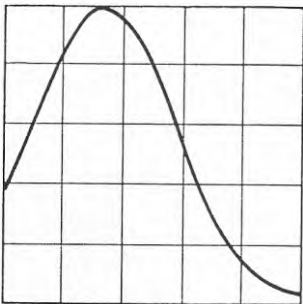
Figur 4.5 Inverkan av de primära felhändelserna på toppändelsen



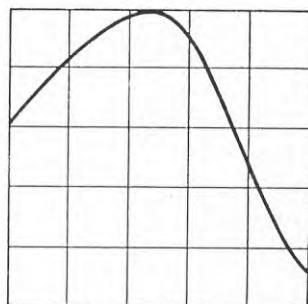
Tophändelsen givet bara X11111



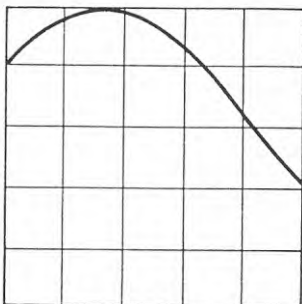
Tophändelsen givet bara X11112



Tophändelsen givet bara X111311



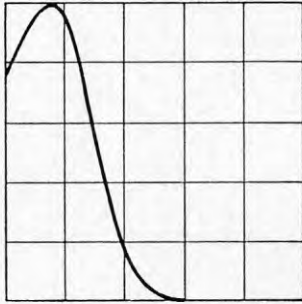
Tophändelsen givet bara X111312



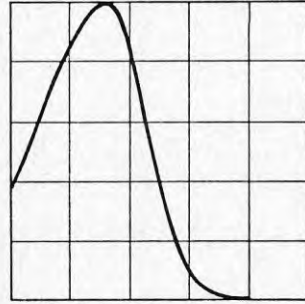
Tophändelsen givet bara X1112

b

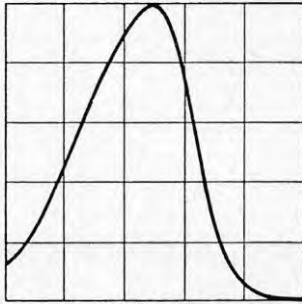
Figur 4.5 forts.



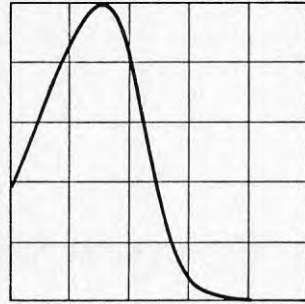
Tophändelsen givet bara X11111



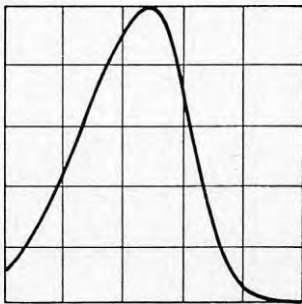
Tophändelsen givet bara X11112



Tophändelsen givet bara X11131



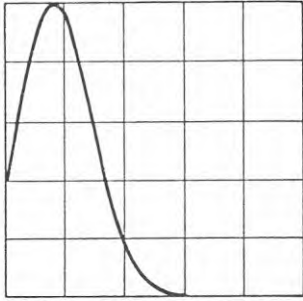
Tophändelsen givet bara X11132



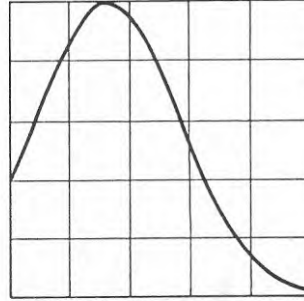
Tophändelsen givet bara X1112

C

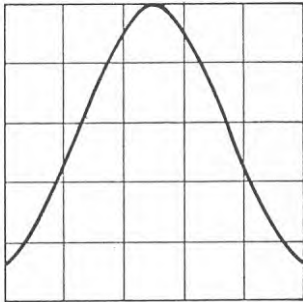
Figur 4.5 forts.



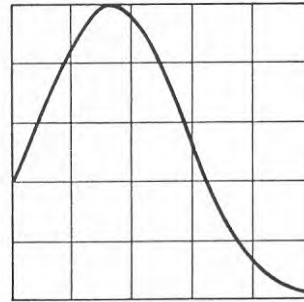
X1 givet bara X11111



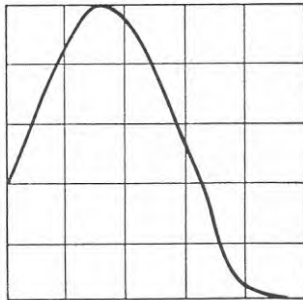
X1 givet bara X11112



X1 givet bara X111311



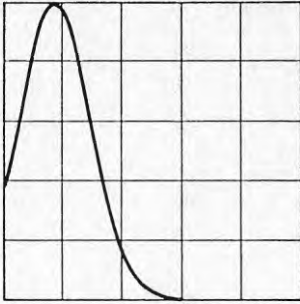
X1 givet bara X111312



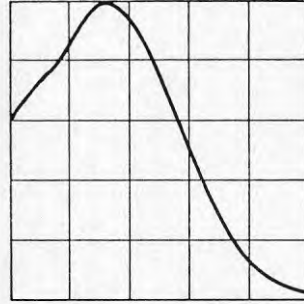
X1 givet bara X1112

a

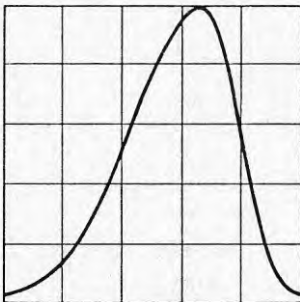
Figur 4.6 Inverkan av de primära felhändelserna på händelse X1



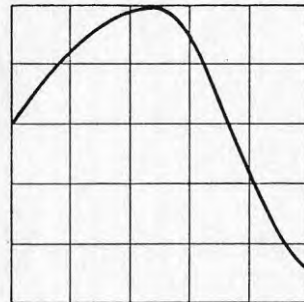
X1 givet bara X11111



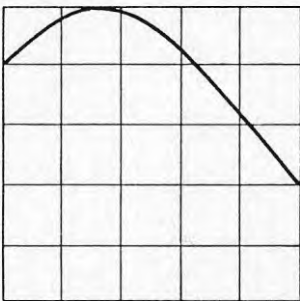
X1 givet bara X11112



X1 givet bara X111311



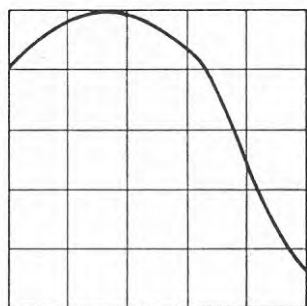
X1 givet bara X111312



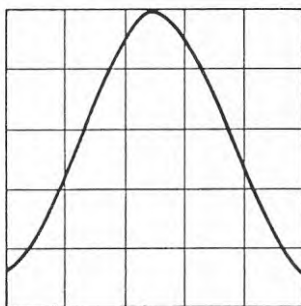
X1 givet bara X1112

b

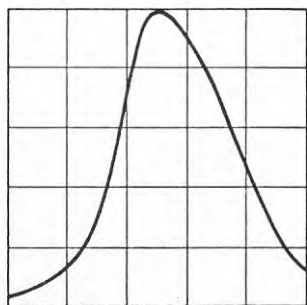
Figur 4.6 forts.



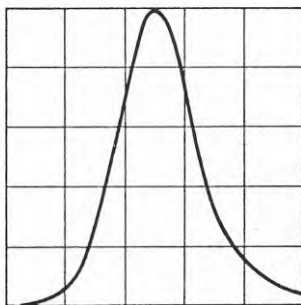
Tophände Isen



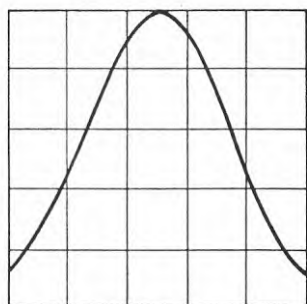
X1



X11



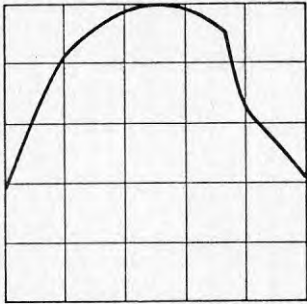
X1111



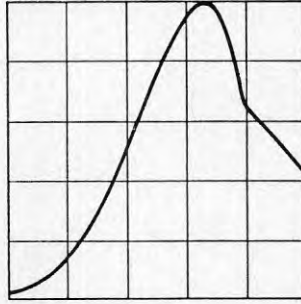
X1113

a

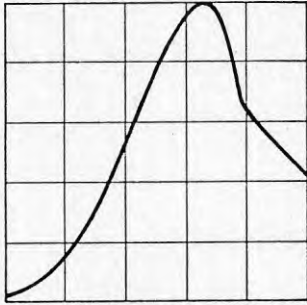
Figur 4.7 Möjlighetsvärden för mellanliggande händelser



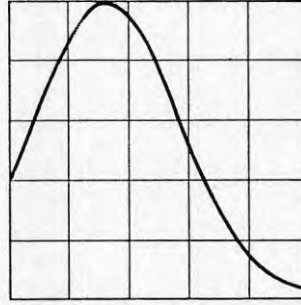
Toppånde lsen



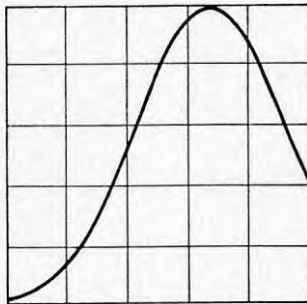
X1



X11



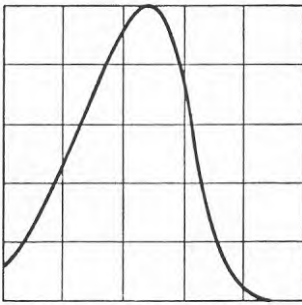
X1111



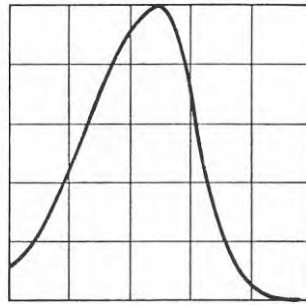
X1113

b

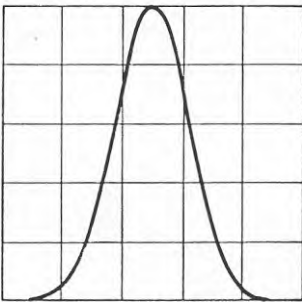
Figur 4.7 forts.



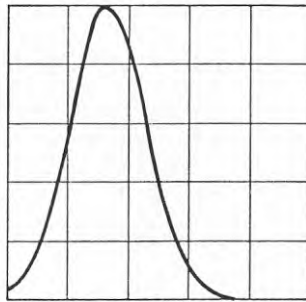
Toppändelsen



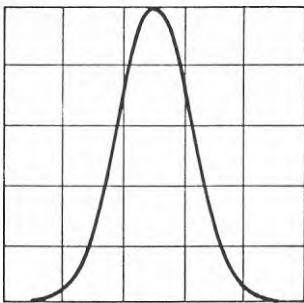
X1



X11



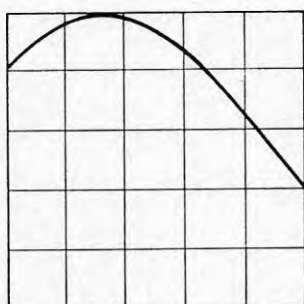
X1111



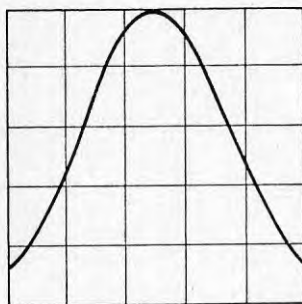
X1113

C

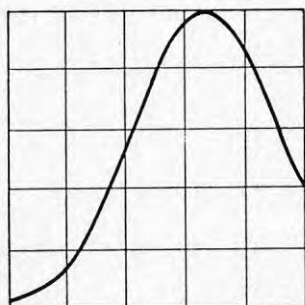
Figur 4.7 forts.



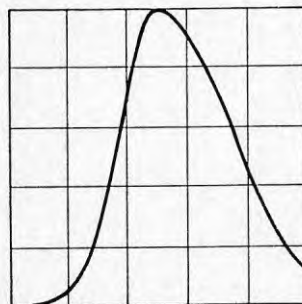
Tophändelsen givet bara Q(1)



Tophändelsen givet bara Q1(1)



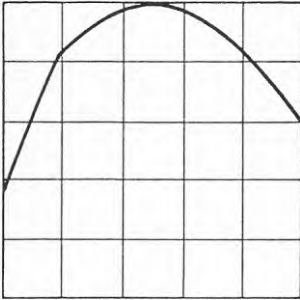
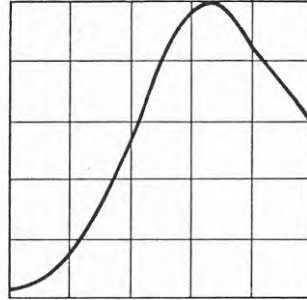
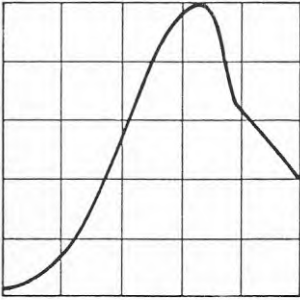
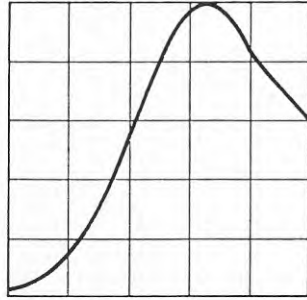
Tophändelsen givet bara Q11(1)

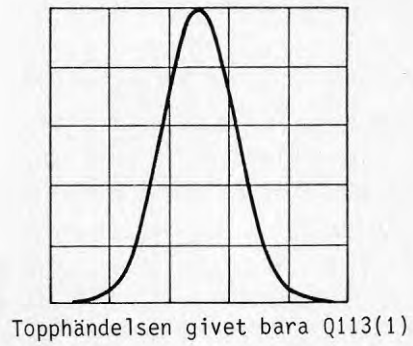
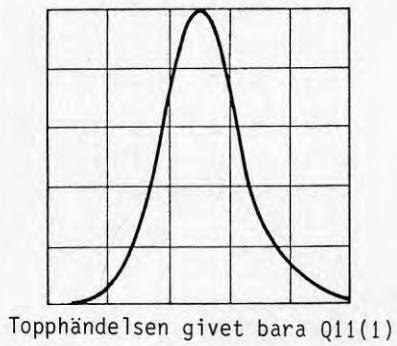
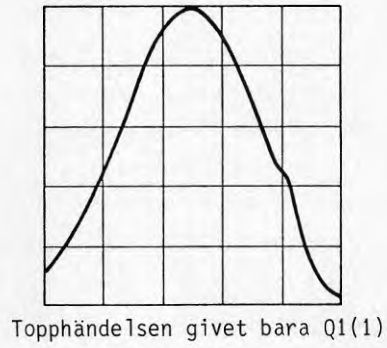
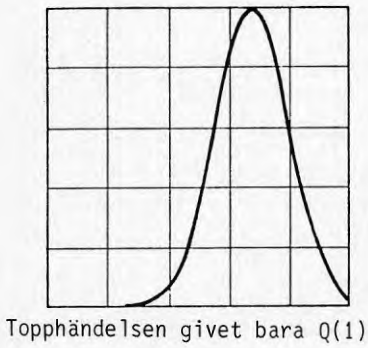


Tophändelsen givet bara Q113(1)

a

Figur 4.8 Inverkan av kontrollpunkterna på tophändelsen

Toppändelsen givet bara $Q(1)$ Toppändelsen givet bara $Q1(1)$ Toppändelsen givet bara $Q11(1)$ Toppändelsen givet bara $Q113(1)$ **b**

**C**

Figur 4.8 forts.

Låt oss börja utvärderingen med några kommentarer till den sist nämnda punkten. Det kunde konstateras att tolkningen av resultaten blir densamma oavsett om rätlinjiga eller klockformiga fördelningar användes. Att så är fallet är givetvis avhängigt att de resulterande möjlighetsfunktionerna endast jämförs inbördes och används för att ge en indikation på riskfaktorer och deras påverkan på topphändelsen. Det ska dock påpekas att endast några få jämförelser gjordes och utan någon förändring av de antagna maxvärdena för de diffusa tal som representerade de lingvistiska möjligheterna.

Innan möjligheterna i FIG 4.4-4.8 ska kommenteras kan det vara på sin plats med några kommentarer till de åsatta värdena i Tabell 4.1. En granskning av dessa ger vid handen att A, B och C generellt har likartade åsatta värden men att vissa skillnader kan identifieras. En skillnad är de åsatta värdena för händelse X11111, systemfel. A har här ansett att händelsen är möjlig emedan B och C har ansett denna som nästan omöjlig. Detta beror främst på olika tolkningar av händelsen. A har inkluderat alla möjliga typer av fel medan B och C har bortsett från de fel som medför att beräkningen avbryts utan att några resultat presenteras. Trots dessa skillnader i tolkning och åsatta värden så är resultaten för inverkan av systemfel på topphändelsen mycket lika, se FIG 4.5. Detta beror på att även kontrollpunkterna påverkas av denna skillnad i tolkning av händelsen systemfel vilket i sin tur medför att skillnaderna inte är så stora som de vid första anblicken gav sken av att vara. Trots detta ska det noteras att en utförligare beskrivning än bara själva felträdet kan vara motiverat för att undanröja skillnader i resultat som enbart beror på olika tolkningar av de primära händelserna.

En annan märkbar skillnad, som också är av större betydelse, är skillnaderna i uppfattningen av kontrollpunkten Q(1), fel i kontrollen av den erfarna konstruktören. A och B är relativt osäkra, beroende på begränsad praktisk erfarenhet, om effekten av denna kontroll medan C å sin sida är säker på att denna kontroll har bristande effektivitet. C hävdar att kontrollen vid detta

läge är närmast obefintlig och att kontrollen i praktiken utförs först vid kontroll av arbetsritningarna. Förhoppningsvis är då kontrollen mer noggrann och effektiv!

Intressant är att notera att A och B's osäkerheter märkbart påverkar möjligheten för topphändelsen vilket kan utläsas i FIG 4.4. De resulterande möjligheterna är ju betydligt mer diffusa för A och B än för C. Detta återspeglar verkligheten, det vill säga med den erfarenhet A och B besitter så är det tveksamt om de är lämpliga att värdera den aktuella kontrollpunkten. Om man istället väljer X1, som enligt FIG 4.3 bara skiljer från topphändelsen X via inverkan av kontrollpunkt Q(1), så blir följaktligen resultaten mindre diffusa, och därmed mer signifikanta. Dessa värden återfinns i FIG 4.6. Slutsatsen av detta är att åsättande av "grad av kunskap" är viktigt för modellering av humanistiska system med en kvantitativ utvärdering via subjektiva värderingar.

Efter dessa inledande kommentarer till värderingarna i Tabell 4.1 kan det nu vara på sin plats med en utvärdering av och en diskussion om resultaten i FIG 4.4-4.8.

Av möjligheterna för topphändelsen i FIG 4.4 kan den slutsatsen dras att möjligheten för felaktigt moment inte alls är försumbar. I FIG 4.5 redovisas hur denna möjlighet påverkats av de primära felhändelserna. Tabell 4.2, som baseras på denna figur och på FIG 4.6, rangordnar dessa riskfaktorer. Eftersom A och B var så osäkra avseende kontrollpunkten Q(1) så rangordnar Tabell 4.2 även händelserna med avseende på händelse X1. Bortsett från X11111, systemfel, så är det relativt små skillnader mellan de primära felhändelserna. Dessa skillnader är dock gemensamma för A, B och C.

Systemfel rangordnades sist, vilket överensstämmer med intuitiv uppfattning, och därefter kommer X11112, fel i datorprogrammet. X111312, fel i indatahanteringen, och X1112, fel i tolkningen av utdata, följer därefter och de kan anses som ungefär likvärdiga. Felaktig modell, X111311, anses som allra allvarligast. Detta

Rangordning enligt	A	B	C
Möjlighet för topphändelsen (Felaktigt moment)	X111311 X111312 eller X11112 X1112 X11111	X11312 X1112 X111311 X11112 X11111	X111311 eller X1112 X111312 eller X11112 X11111
Möjlighet för X1 (Fel i beräkningen)	X111311 X111312 eller X1112 X11112 X11111	X111311 X111312 X11112 X1112 X11111	

Tabell 4.2 Rangordning av de primära felhändelserna

trots att modellen i det aktuella exemplet är relativ enkel vilket innebär att möjligheten för denna händelse torde öka vid ökad komplexitet.

FIG 4.7 och FIG 4.8 kan användas för att utvärdera effektiviteten av kontrollpunkterna. Alla kontrollpunkter verkar vara motiverade och av likartad betydelse men Q(1) bör omnämnas speciellt. Detta eftersom denna kontroll, av en erfaren konstruktör, allmänt anses som det effektivaste motmedlet mot den allvarligaste felhändelsen, felaktig modell. Denna kontroll, enligt diskussionen ovan, utförs dock inte alltid som det vore önskvärt.

Slutligen ska påpekas att exemplet inte avser en aktuell praktisk situation utan avser en tänkt möjlig situation. Detta medför att det kan vara svårare att avge värderingar än om man, till exempel, vet vilket datorprogram som avses. Trots detta har en del viktiga slutsatser kunnat dras, vilka dessutom överensstämmer med intuition och med olika experters åsikter.

4.1.3 Utvärdering

Riskindikation som har presenterats och exemplifierats i de föregående två avsnitten är avsedd att vara en metod för att identifiera ett systems riskfaktorer och att indikera behov av förändrade kontrollinsatser. Avsikten är inte att presentera några absoluta sannolikhets- eller möjlighetsvärden. Av exemplet i föregående avsnitt kan konstateras att metoden ger rimliga resultat och verkar uppfylla ställda krav. Givetvis krävs det mer än ett enstaka exempel innan metodiken kan bli allmänt accepterad och börja användas i praktiskt bruk.

De flesta frågetecknen och osäkerheterna rör utvärderingen av kontrollpunkterna. Till exempel har antagits att dessa är icke-interaktiva, ett antagande som ofta inte är uppfyllt. Modelleringen av kontrollpunkterna har bara kortfattat berörts ovan, men en utförligare diskussion återfinns i Andersson, 1985. Klart är dock att modelleringen av kontrollpunkterna bör undersökas vidare innan metoden kan vara generellt applicerbar för en optimering av kontrollinsatserna. Rangordningen av felhändelserna har inte dessa osäkerhetsfaktorer och möjligheten till en rangordning anses vara en styrka hos metoden.

En tänkbar utvidgning av metoden är att införa diffusa händelser. Detta innebär att inträffande av en felhändelse inte nödvändigtvis behöver medföra att en ovanförliggande händelse behöver inträffa, även om en eventuell kontroll misslyckas med att identifiera felhändelsen.

Att metoden fungerar och ger rimliga svar innebär inte att den därmed kan rekommenderas eftersom det kan finnas alternativa metoder och ideer som kan bedömas som mer fördelaktiga. Alternativen till en riskindikation varierar i omfattning och i komplexitet från en enkel checklista till en traditionell felträdsanalys.

Det vanligaste är dock att ingen riskanalys alls utförs. Detta innebär att man har ett dåligt grepp om eventuella risker och

att man allokerar kontrollinsatserna "på känn" eller enligt gammal tradition. Detta kan kanske fungera på enkla system med begränsade kvalitetskrav men, som har diskuterats i avsnitt 2.3, kvalitetskraven växer ständigt samtidigt som systemen blir alltmer komplexa. Detta måste rimligtvis innebära att man inom byggnadsindustrin inte i framtiden kan fortsätta att försumma riskanalys som man hitintills har gjort.

Närmast till hands ligger då att utnyttja en enkel checklista. Detta innebär visserligen att man försöker att identifiera riskerna och att man försöker kontrollera dessa men man erhåller ingen uppfattning om allvarlighetsgrad eller om kontrollen är optimal. En checklista är statisk, i och med att man inte erhåller någon information om hur man ska kunna förbättra systemet, medan en riskindikation är dynamisk eftersom denna innebär att man aktivt kan påverka systemet. Av detta följer att en enkel checklista kan vara bra att använda på system som först har analyserats utförligare, till exempel genom en utförd riskindikation.

Alternativ på samma nivå som en riskindikation kan vara en utvärdering enligt Furuta & Shiraishi, 1984, jämför avsnitt 3.4.2. Ett praktiskt exempel analyserat med denna metodik skulle kunna klargöra skillnaderna i kvantitativ utvärdering. Den kvalitativa modellen är dock likartad och modellen är ju minst lika betydelsefull som den kvantitativa utvärderingen. En märkbar skillnad som rör felträdet är att detta är modifierat, med felhändelser och kontrollpunkter i en riskindikation, medan Furuta & Shiraishi antagligen utnyttjar traditionell teknik.

Den traditionella tekniken är framtagen för att analysera mekaniska system medan riskindikation är modifierad till att beakta väsentligheter i humanistiska system. En traditionell felträdsanalys på ovanstående exempel skulle teoretiskt kunna ge mindre diffust resultat men det finns inte tillräckligt kunskapsunderlag att stödja en sådan. Till exempel, att uppskatta sannolikheten för händelsen "fel i tolkning av utdata" är närmast omöjligt. Dessutom är de olika händelserna definitivt inte oberoende

de, ett antagande som är standard i traditionell felträdsanalys av mekaniska system. Av detta följer att om ovanstående exempel skulle analyseras med traditionell teknik skulle osäkerheterna vara så stora att inga slutsatser av värde skulle kunna dras.

Slutsatsen av denna utvärdering blir således att:

Riskindikation uppfyller ställda krav och är en metod att rekommendera för riskanalys av byggnadsindustriella system.

4.2 Riskrangordning

4.2.1 Metodbeskrivning

Riskrangordning, som utförligt har beskrivits i Andersson, 1986a, är avsedd att vara en metod för att jämföra och rangordna olika system vad avser risk. Med system avses olika konstruktionslösningar eller, som i nedanstående exempel, olika alternativ att utföra en konstruktionsberäkning. Alternativet rangordnas med avseende på riskfaktorens möjlighet för inträffande vilket innebär att utvärderingen utförs enligt möjlighetsteorin.

Metoden är avsedd att vara applicerbar för tillfällena när den tillgängliga informationen är av sådan natur att den ej kan stödja en sannolikhetsbaserad riskutvärdering. Riskrangordning kräver endast att riskfaktorens ska kunna rangordnas sinsemellan, en rangordning som dessutom tillåts vara diffus. Detta innebär att metoden kan vara användbar för situationer som tidigare ej varit tillgängliga för en sannolikhetsbaserad riskanalys. Dyliga situationer är, som det har framkommit i avsnitt 2.3, vanligt förekommande inom byggnadsindustrin.

För närvarande beaktas inte ekonomiska faktorer. Dessa är dock av betydelse för en komplett värdering av olika alternativ men det har bedömts lämpligt att, i alla fall i ett inledande skede, utvärdera metodiken utan att beakta den komplexitet som ett ekonomiskt hänsynstagande innebär.

Metoden består av 6 olika steg:

- Steg 1: Riskidentifikation
- Steg 2: Modellbestämning
- Steg 3: Möjlighetsrangordning
- Steg 4: Osäkerhetsvärdering
- Steg 5: Beräkning
- Steg 6: Utvärdering

Riskidentifikation som utgör det första inledande steget är till stora delar identisk med det inledande steget i en riskindikation, jämför avsnitt 4.1.1. Detta innebär att alla möjliga och "omöjliga" riskfaktorer ska identifieras men även att steget är avsett att ge den som utför analysen tillfälle att bekanta sig med de system som ska analyseras. Det som skiljer ifrån en riskindikation är att inte alla riskfaktorer behöver beaktas. Bara de faktorer som skiljer sig emellan de system som ska analyseras behöver beaktas. I övrigt hänvisas till genomgången av riskidentifikation i avsnitt 4.1.1.

Metoden ska uppfylla kravet att vara konsekvent, det vill säga att rangordningen av olika system sinsemellan ska bli lika oavsett hur många alternativ som beaktas. Dessutom ska inte den inbördes rangordningen av olika riskfaktorer förändras om nya riskfaktorer införes. I fortsättningen förutsätts att det bara är två olika system som ska utvärderas. Detta är i sig ingen restriktion eftersom kravet ovan gör att man alltid kan reducera alternativen genom parvisa jämförelser.

Modellen består av ett antal händelser, nedan alternativt benämnda utfall. Dessa utväljs för varje delsystem som ska studeras. Valet av utfall baseras på den utförda riskidentifikationen men antalet utfall måste normalt reduceras till endast de utfall som kan anses vara av betydelse. Varje delsystem rangordnas för sig och innebär att de utfall som rangordnats som möjligast bibehålls inför en rangordning av nästa överordnade delsystem och så vidare. Rangordningen för varje delsystem avser risken att detta felfungerar, vilket inte behöver innebära att det totala systemet felfungerar.

Antalet utfall per delsystem bör av praktiska skäl inte överstiga 20-30 stycken. Detta eftersom möjlighetsrangordningen annars kan bli för tröttsam och därmed inte utförs med bibehållen skärpa.

För varje delsystem förutsätts att någon form av kontroll av felhändelserna alltid sker. Kontrollen kan dock vara av varierande omfattning, till exempel en formell besiktningskontroll eller en okulär kontroll att "det verkar vara som det ska vara". Kontrollen av respektive utfall rangordnas först för sig och utfallen rangordnas för sig. Rangordningen avser möjligheten att kontrollen misslyckas respektive möjligheten för utfall av felhändelsen. Efter denna inledande preliminära rangordning utförs parvisa jämförelser mellan möjligheten för en kontrollhändelse och en felhändelse.

Att utföra en rangordning kan emellertid upplevas som besvärande om man inte har möjligheten att gardera sig mot att rangordningen bitvis är osäker eller diffus. Följaktligen, i steget osäkerhetsvärdering ska man ange osäkerheterna i den, hitintills, absoluta rangordningen. Denna osäkerhet indelas i två olika typer. Den första avser osäkerhet i rangordningen och den andra avser osäkerheten avseende respektive utfall, eller enligt nomenklaturen i avsnitt 4.1 "grad av kunskap" om respektive utfall.

Vad gäller rangordningen kan man, till exempel, vara säker på att utfall a är möjligare än utfall b eller så anser man att a och b är ungefär lika möjliga. Om a har rangordningen precis före b och möjligheten för dessa betecknas som $\Pi(a)$ och $\Pi(b)$ ska osäkerheten om $\Pi(a) < \Pi(b)$ åsättas ett värde A-F enligt:

- A definitivt säker på att $\Pi(a) < \Pi(b)$
- B nästan säker på att $\Pi(a) < \Pi(b)$
- C ganska säker på att $\Pi(a) < \Pi(b)$
- D antagligen är $\Pi(a) < \Pi(b)$
- E $\Pi(a) \lesssim \Pi(b)$
- F $\Pi(a) = \Pi(b)$

F innebär således att möjligheten för a och b sätts lika emedan A innebär att det inte råder någon tvekan om att b är möjligare

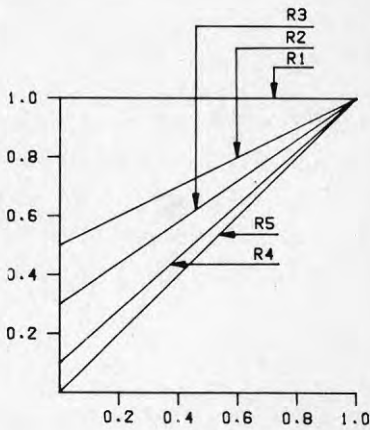
än a.

Efter denna första typ av osäkerhetsvärdering framräknas nya, diffusa, värden för rangordningen. Detta innebär att om utfall a har rangordnats som nummer 7 av totalt n utfall så kan det diffusa värdet för att a i själva verket skulle vara nummer 5 vara 0.8. Detta innebär att utfall a har ett diffust värde för varje placering mellan 1-n. Det ska dock påpekas att detta förfarande i ogynnsamma fall eventuellt kan vara motstridigt mot kravet på konsekvens enligt ovan.

Den diffusa rangordningen modifieras även enligt grad av kunskap som ska åsättas för varje utfall. Grad av kunskap om möjligheten åsätts ett värde 1-5 enligt:

- 1 vet ej
- 2 osäker
- 3 varken säker eller osäker
- 4 ganska säker
- 5 absolut säker

Varje diffust värde modifieras enligt modifierarfunktionen i FIG 4.9. Detta innebär att ett värde $\mu(y)=0.6$ erhåller det modifierade värdet 0.72 om graden av kunskap åsätts till 3. Ett åsättande av grad av kunskap för utfall a påverkar endast de diffusa värdena för detta utfall, de andra utfallens diffusa värden bibehålls oförändrade.



Figur 4.9 Modifierarfunktion för grad av kunskap

Efter denna modifiering av den utförda rangordningen är det dags att utföra en beräkning för att kunna utvärdera de olika alternativen gentemot varandra. Enligt tidigare steg har för varje alternativ identifierats ett antal olika utfall med tillhörande kontroll. Dessa har därefter rangordnats, en rangordning som tillåts vara mer eller mindre diffus.

Beräkningen startar med en beräkning av den diffusa rangordningen för varje utfall med beaktande av kontrollen av detta utfall. Låt ett utfall tillhörande alternativ A betecknas a_i och tillhörande kontroll betecknas qa_i . Den diffusa möjligheten för a_i betecknas $\tilde{\Pi}(a_i)$ och möjligheten att kontrollen av a_i misslyckas givet att a_i har inträffat betecknas $\tilde{\Pi}(qa_i)$. Den totala effekten av a_i betecknas a_i' och kräver att både a_i och qa_i inträffar, det vill säga:

$$\tilde{\Pi}(a_i') = \tilde{\Pi}(a_i), \tilde{\Pi}(qa_i)$$

Den totala effekten för alternativ A, med utfallen $a_1' - a_n'$, behövs för en utvärdering gentemot andra alternativ. I enlighet med möjlighetsteorin är möjligheten för A:

$$\tilde{\Pi}(A) = \tilde{\text{MAX}} (\tilde{\Pi}(a_1'), \tilde{\Pi}(a_2'), \dots, \tilde{\Pi}(a_n'))$$

$\tilde{\text{MAX}}$ operatorm innebär även att rangordningsvärdet för alternativ A blir konsekvent, ett krav som enligt ovan är önskvärt för en riskrangordning. Det kan emellertid finnas anledning till ett alternativt angreppssätt att beräkna den samordnade effekten av de olika utfallen. Den diffusa summan beräknas enligt:

$$\tilde{\Pi}(A\oplus) = \tilde{\Pi}(a_1') + \tilde{\Pi}(a_2') + \dots + \tilde{\Pi}(a_n')$$

Operatorm \oplus uppfyller dock inte alls kravet på konsekvens men kan användas som ett komplement till $\tilde{\text{MAX}}$. Detta utifall värderingarna är relativt diffusa och rangordningen av flera alternativ uppfattas som ungefär lika. Användandet av \oplus beaktar den samlade effekten om flera utfall är likvärdiga medan $\tilde{\text{MAX}}$ i dessa hänseenden kan betraktas som lite stelbent.

Angivna ekvationer ovan har avsett den diffusa möjligheten $\tilde{\Pi}$. Denna är dock okänd och istället avser ekvationerna i själva verket den diffusa rangordningen. $\tilde{\Pi}$ har använts för att inte komplicera till ekvationerna i onödan. Dock ska det påpekas att man egentligen inte kan beräkna en diffus möjlighet med \oplus , men att beräkna en diffus rangordning är dock möjligt. För en korrekt beskrivning av använda ekvationer hänvisas till Andersson, 1986a.

Den diffusa rangordningen för de olika alternativen avgör dessas inbördes rangordning. Observera att det i en riskrangordning bara finns information för en rangordning och att skalan mellan de olika ordningarna är variabel och okänd. Detta innebär att om A har rangordnats som allvarligare än B så vet vi fortfarande inte om skillnaderna i möjlighet är en faktor 2 eller rent av en faktor 10.

Eftersom rangordningen är diffus blir även slutresultatet diffust. Eventuellt kan det vara så diffust att man inte kan rangordna alternativen. En mer ingående studie av utvalda utfall kan

i dessa fall innebära en större säkerhet i osäkerhetsvärderingen och därmed medföra mindre diffust slutresultat.

Slutgiltigt val av alternativ beror dock sällan på enbart en riskrangordning utan även andra faktorer kan vara nog så betydande. I praktiken kan man aldrig försumma ekonomi och tidsfaktorer.

4.2.2 Exempel

Även för riskrangordning har beräkningar utförts på ett exempel som avser en beräkning av dimensionerande moment i en betongplatta, jämför exemplet avseende riskindikation i avsnitt 4.1.2. Huvudsakligen är det två väsentliga faktorer som skiljer exemplen åt. Den första skillnaden är att för riskrangordningen beaktas två olika alternativ, dels den i avsnitt 4.1.2 analyserade beräkningen med hjälp av ett datorprogram och dels ett alternativt angreppssätt med en manuell beräkning med hjälp av tillgängliga formler och tabeller. Den andra skillnaden, som ej ska försummas, är att det föreliggande exemplet inte har analyserats lika ingående som exemplet i avsnitt 4.1.2.

Förutsättningarna enligt avsnitt 4.1.2, sid 102, är även här gällande förutom det att beräkningen alternativt utföres manuell. Detta alternativ betecknas med B medan alternativet med en datorberäkning betecknas med A.

Som har framgått av föregående avsnitt har även det första steget, riskidentifikation, stora likheter med det inledande steget i en riskindikation. Vad som skiljer åt är att för en riskrangordning är endast de faktorer av intresse som är olika mellan de aktuella alternativen.

I tabell 4.3 visas olika identifierade riskfaktorer för alternativen A och B vad avser den numeriska beräkningen. Fler felkällor har som synes identifierats för alternativ A än för B men, vad avser tabell 4.3, möjligheten för ett fel i alternativ B är

nog större än ett fel i alternativ A. Till exempel är nog möjligheten störst för ett numeriskt beräkningsfel vad avser de identifierade faktorerna i tabell 4.3.

Tabell 4.3 Riskidentifikation för den numeriska beräkningen

Alternativ A	Alternativ B
Datorberäkning	Manuell beräkning
Felaktig metod	Numeriskt beräkningsfel
Avrundningsfel	Avrundningsfel
Programfel	Läs och skrivfel
Datorsystemfel	
Läs och skrivfel	

Av alla identifierade riskfaktorerna har dessa kraftigt reducerats för att erhålla ett exempel som innebär att de numeriska beräkningarna snabbt och enkelt kan utföras. Detta på bekostnad av ett realistiskt exempel men den främsta avsikten med exemplet var att uttesta metoden och inte att utföra en till alla delar korrekt analys.

Bägge alternativen har därför bara tilldelats vardera 3 utfall enligt:

a_1, b_1	Felaktig modell
a_2, b_2	Fel i beräkningen
a_3, b_3	Användarfel

Där $a_1 - a_3$ avser alternativ A och $b_1 - b_3$ avser alternativ B samt $qa_1 - qa_3$ och $qb_1 - qb_3$ som avser kontrollen av dessa utfall. Användarfel är fel av typen fel i tolkning av program, tabeller eller formler samt fel i indata och utdatahantering. Fel i beräkningen avser fel enligt tabell 4.3 medan felaktig modell avser modelleringsfel och inkluderar felaktigt val av finit element modell.

Ytterligare en förenkling är att analysen inte indelats i olika delsystem utan rangordningen av utfallen avser hela systemet. Detta innebär att utfallen ska rangordnas vad avser risken för ett felaktigt böjmoment.

Till skillnad från exemplet för riskindikation har värderingarna, rangordningen och osäkerhetsvärderingen, bara utförts av en person, tillika författare av föreliggande text. För rangordningen av utfallen blev resultatet, med början av det minst möjliga utfallet:

$$a_2, b_3, b_1, a_1, a_3, b_2$$

Observera att rangordningen endast avser möjligheten för fel oavsett om dessa felaktigheter upptäcks eller ej. Fel i beräkningen för alternativ B har åsatts den högsta möjligheten emedan motsvarande fel i en datorberäkning har betydligt lägre möjlighet. Däremot är för en datorberäkning fel i kommunikationen mellan användare och datorprogram mer möjligt vilket kan utläsas av rangordningarna för utfallen a_3 och a_1 .

En rangordning av kontrollen av utfallen är nästa steg. Ordningen blev:

$$qb_2, qa_3, qb_3, qb_1, qa_2, qa_1$$

Ett fel i datorberäkningen har bedömts som svårare att upptäcka än ett fel i den manuella beräkningen. Detta är helt naturligt eftersom en datorberäkning inte kan kontrolleras lika ingående som en manuell beräkning. Enklast att kontrollera är den manuella numeriska beräkningen. Tyvärr koncentreras vanligtvis alltför mycket på detta utfall medan kontrollen av de övriga felkällorna mer eller mindre försummas.

En parvis jämförelse mellan ett utfall och en kontrollhändelse gav den slutliga rangordningen:

$$a_2, qb_2, qa_3, b_3, qb_3, b_1, a_1, qb_1, qa_2, qa_1, a_3, b_2$$

Eftersom denna rangordning tillåts vara, och är, diffus ska först varje par i rangordningen tilldelas ett lingvistiskt osäkerhetsvärde, A-F enligt föregående avsnitt. Dessa värden åsat-

tes enligt tabell 4.4. Till exempel kan utläsas att det nästan är säkert att möjligheten för ett misslyckande av kontrollen av fel i den manuella beräkningen, qb_2 , är mindre än möjligheten för ett misslyckande av kontrollen av ett användarfel i en datorberäkning, qa_3 . Möjligheten för denna sistnämnda händelse bedöms som nästan likvärdig med möjligheten för användarfel i den manuella beräkningen, b_3 .

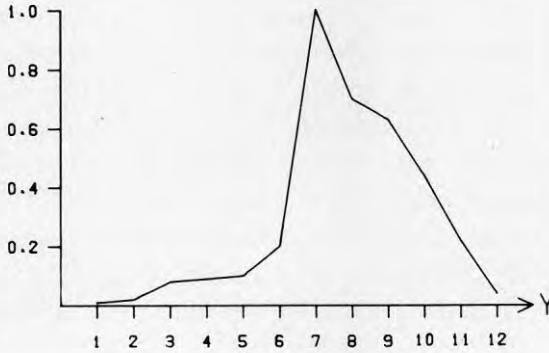
Tabell 4.4 Osäkerhetsvärdering för rangordningen

Utfall x	Utfall y	Värdering	$\Pi(x) < \Pi(y)$
a_2	qb_2	C	
qb_2	qa_3	B	
qa_3	b_3	E	
b_3	qb_3	E	
qb_3	b_1	C	
b_1	a_1	B	
a_1	qb_1	D	
qb_1	qa_2	E	
qa_2	qa_1	D	
qa_1	a_3	C	
a_3	b_2	B	

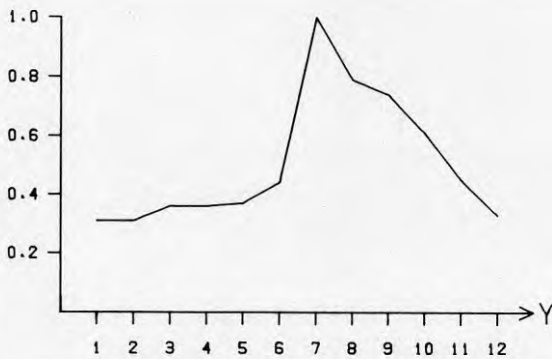
Ett utfall som har rangordnats som nummer i erhåller alltid värdet 1 vad avser denna ordning medan de diffusa värdena för övriga placeringar erhåller värden < 1 . Rangordningsmängden betecknas med Y vilket ger att varje utfall har ett diffust värde för varje existerande y_i , med $i=1-12$. Efter osäkerhetsvärderingen kan detta för utfall a_1 , felaktig modell för alternativet datorberäkning, avbildas grafiskt enligt 4.10. Observera att den egentligen diskreta funktionen avbildats som en kontinuerlig funktion, detta enbart för att göra denna och efterföljande figurer mer lättlästa.

Osäkerhetsvärderingen av rangordningen har i tabell 4.5 kompletterats med ett åsättande av grad av kunskap. Som kan utläsas är den övergripande graden av kunskap ganska begränsad. Dessutom kan utläsas att kunskapen om felhändelserna generellt har bedömts som högre än kunskapen om kontrollen av dessa händelser.

För jämförelse med FIG 4.10 visas i FIG 4.11 den diffusa rangordningen för utfall a_1 efter beaktande av graden av kunskap om detta utfall.



Figur 4.10 Diffus rangordning för utfall a_1 , exkluderat grad av kunskap

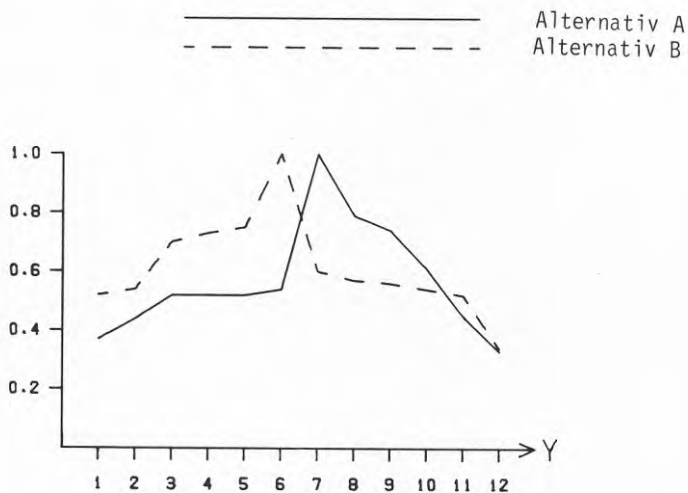


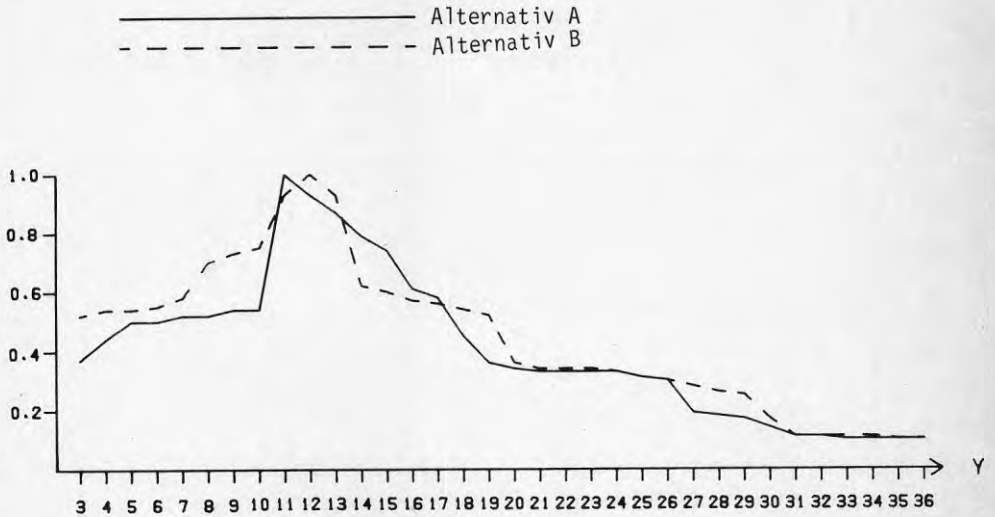
Figur 4.11 Diffus rangordning för utfall a_1 , inkluderat grad av kunskap

Tabell 4.5 Kunskapsvärdering för samtliga utfall

a_1 = varken säker eller osäker	b = osäker
a_1^1 = ganska säker	b^1 = ganska säker
a_2 = varken säker eller osäker	b^2 = varken säker eller osäker
qa_3 = osäker	qb^3 = varken säker eller osäker
qa_1 = osäker	qb^1 = ganska säker
qa_2 = varken säker eller osäker	qb^2 = osäker

Efter rangordningen av utfallen och osäkerhetsvärderingarna kan den diffusa rangordningen för alternativen A och B framräknas. Denna beräkning inleds med en beräkning av \tilde{MIN} för varje utfall. Detta avser den totala effekten, felhändelsen och kontrollen av felhändelsen, för varje utfall. Därefter ger \tilde{MAX} eller θ det slutliga rangordningsvärdet för respektive alternativ. På motsvarande sätt som för de enskilda utfallen avbildas rangordningarna på mängden Y , enligt FIG 4.12 för \tilde{MAX} och FIG 4.13 för θ .

Figur 4.12 Diffus rangordning enligt \tilde{MAX}



Figur 4.13 Diffus rangordning enligt θ

Som kan utläsas i dessa figurer är alternativen närmast likvärdiga, såväl vad avser $\tilde{M}AX$ som vad avser θ . Dessutom är alternativens rangordningar ungefär lika diffusa, med som synes relativt stora osäkerhetsfaktorer.

Av beräkningarna, som redovisats till fullo i Andersson, 1986a, framgår att utfallen felaktig modell (a_1 och b_1) är de mest domineranta medan fel i beräkningarna (a_2 och b_2) bedömts vara av lägst intresse. Om man eftersträvar ett mindre diffust resultat kan det således vara värt att noggrannare studera utfallen a_1 och b_1 . Detta kan resultera i nya osäkerhetsvärderingar för rangordningen enligt:

$\Pi (qb_3) < \Pi (b_1)$ osäkerhetsvärde B (nästan säker)

$\Pi (a_1) < \Pi (qb_1)$ osäkerhetsvärde B

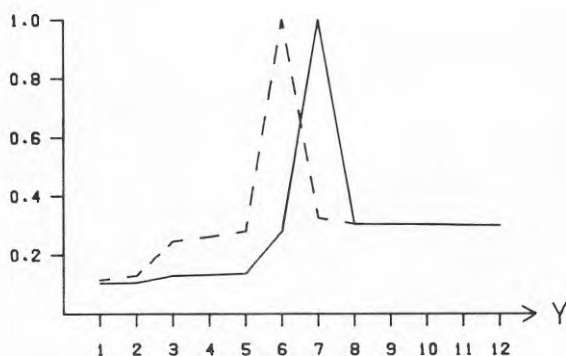
$\Pi (qb_1) < \Pi (qa_2)$ osäkerhetsvärde D

$\Pi (qa_1) < \Pi (a_3)$ osäkerhetsvärde B

och med grad av kunskap = ganska säker för:

a_1 , qa_1 , b_1 och qb_1 .

————— Alternativ A
 - - - - - Alternativ B



Figur 4.14 Diffus rangordning enligt \tilde{MAX} efter nya osäkerhetsvärderingar

Dessa nya värderingar resulterar för \tilde{MAX} i den slutgiltiga rangordningen enligt FIG 4.14. Av figuren framgår klart att alternativ A har större möjlighet för felfunktion än alternativ B. Observera att det inte är avstånden mellan kurvorna som är av betydelse utan, istället, om dessa uppvisar låg eller hög grad av diffushet. Detta eftersom skalan är obestämmd och sannolikt är variabel, det vill säga att skillnaden i möjlighetsvärde mellan y_i och y_{i+1} inte är konstant. Vad vi kan utläsa är enbart att alternativ A har större möjlighet att felfunktionera än alternativ B och att detta påstående är betydligt mindre diffust än vad som var fallet enligt FIG 4.12. En beräkning med θ , som enligt tidigare resonemang inte är konsekvent, fyller ingen funktion för det entydiga resultatet enligt FIG 4.14.

4.2.3 Utvärdering

Riskrangordning är en metod med avsikten att jämföra olika alternativ sinsemellan och att för dessa identifiera olika riskfaktorer. Metoden är enkel och kräver endast ett begränsat informationsinnehåll för respektive system. Detta medför i sin tur att resultaten av en analys aldrig blir helt entydiga och därmed endast kan tjäna som en indikation på den verkliga rangordningen.

Jämfört med en riskindikation är metoden enklare och med lägre krav på tillgänglig information. Riskrangordning kräver bara att händelserna kan möjlighetsrangordnas och inte att dessa möjlighetsvärden behöver anges, vilket ju är fallet för en riskindikation. En annan skillnad är att en riskindikation bygger på en hierarkisk modellstruktur medan en riskrangordning endast utnyttjar en mycket enkel modell i och med uppdelningen i felhändelser och kontroll av dessa samt en uppdelning i olika delsystem.

Metoden som redovisats och exemplifierats i de föregående avsnitten representerar ett grundkoncept och en utvidgning är nog ett måste för att metodiken ska bli använd i praktiska sammanhang. Närmast till hands ligger att, förutom risker, även beakta ekonomiska faktorer. Dessutom bör uttestas exempel med en uppdelning i olika delsystem.

Mot metoden kan invändas att den, och modellen, kan vara för enkel för att kunna ge någotsånär entydiga resultat. En annan allvarlig invändning avser behovet av en dylik metod i praktiskt bruk. Eftersom det är så många andra faktorer förutom risker som styr slutgiltigt val av alternativ kan det kanske vara en suboptimering att lägga ner de insatser som trots allt erfordras för att kunna utföra en riskrangordning. Detta kan i och för sig vara riktigt, speciellt om ekonomiska faktorer ej beaktas, men metoden ger förutom en rangordning även en indikation på väsentliga riskfaktorer. Detta kan vara värdefullt även om rangord-

ningen bara delvis är vägledande vid val av alternativ.

Alternativt kan det vara en idé att utnyttja andra riskanalytiska metoder. Dessa kräver dock vanligtvis mer av tillgänglig information men kan även ge klarare och mer entydigt resultat. Dock förtjänar det att påpekas att en sannolikhetsbaserad utvärdering av rangordnade utfall strider mot kraven på konsekvens. Detta medför att om sannolikhetsteorin ska vara användbar krävs att sannolikhetsvärden och beroenden är kända, vilket i sin tur strider mot tanken på en enkel metod.

Ovanstående leder till följande sammanfattande slutsats:

Riskrangordning kan eventuellt vara ett användbart koncept för att via en enkel men strukturerad analys erhålla en jämförande uppskattning av den inbördes rangordningen mellan olika alternativ.

4.3 Sammanjämkning av subjektiva värderingar

4.3.1 Metodbeskrivning

Som det tredje och sista exemplet på tänkbara användningsområden för diffusa mängder ska beskrivas en idé om hur man ska kunna sammanjämka olika värderingar, företrädesvis lingvistiska och diffusa värderingar. Detta medför att sammanjämkning av subjektiva värderingar inte är någon fristående metod för riskanalys, som var fallet med riskindikation och riskrangordning, utan mer en metodik som kan vara användbar för metoder inom beslutsteorin. Även föreliggande metodik har publicerats tidigare, i Andersson, 1986b.

Metodiken som ska presenteras är ett alternativ till en metodik föreslagen av Elms, jämför avsnitt 3.4.2. För att belysa skillnaderna kommer samma användningsområde att användas, bestämning av riskfaktor för jordbävningsslast, som användes i Elms, 1984. Eftersom den följande genomgången kommer att påvisa ett antal

nackdelar med den metodik som Elms föreslog förtjänar det att påpekas att han har påvisat ett mycket lämpligt användningsområde för diffusa mängder men att Elms val av operatorer är mer diskutabelt.

Det som skiljer den metodik som här ska presenteras och den som föreslogs av Elms är således endast valet av operatorer. Detta medför att, förutom själva grundidén, så är grundstrukturen oförändrad. Denna, som beskrevs i avsnitt 3.4.2, innebär att för att bestämma riskfaktorn R ska olika personer först åsätta lingvistiska värden på en tillförlitlighetsfaktor P. Sambandet mellan R och P är:

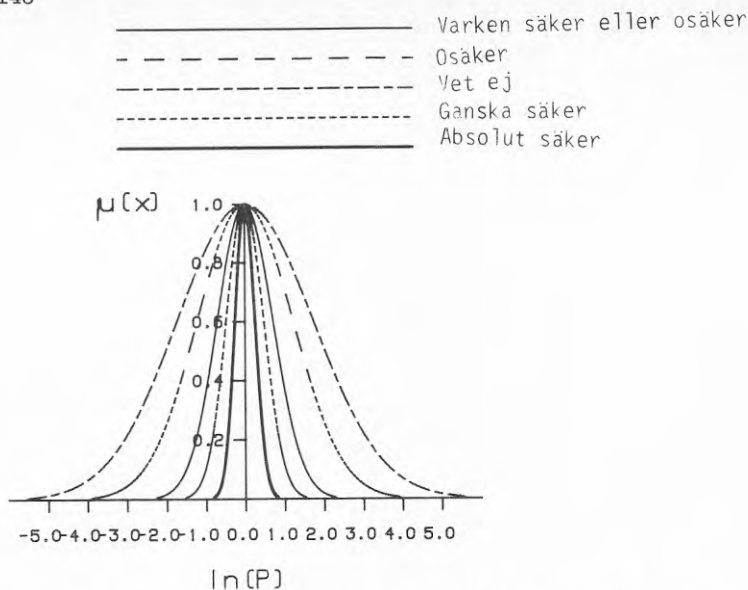
$$R=1.0 + 0.45 \log P$$

Dessa lingvistiska värden åsätts för en aktuell konstruktion och avser konstruktionens betydelse. De lingvistiska värdena modelleras med diffusa mängder enligt FIG 3.9. I avsnitt 4.1 och 4.2 har argumenterats för att ett åsättande ska åtföljas av ett åsättande av grad av kunskap. Applicerad på medlemskapsfunktionen för "normal betydelse" i FIG 3.9 ger detta upphov till nya medlemskapsfunktioner enligt 4.15.

Eftersom varje åsättande inte kan anses vara lika betydelsefulla bör de lingvistiska åsatta värdena modifieras enligt en parameter "grad av signifikans". För detta föreslog Elms en modifieringsfunktion enligt:

$$\mu_M(x) = \mu_B(x)^\alpha$$

där värdet på α bestäms av grad av signifikans.



Figur 4.15 Inverkan av grad av kunskap på mängden "normal betydelse"

Detta medför dock att en mängd modifierad enligt "mycket signifikant" blir mindre diffus än en mängd modifierad enligt "inte signifikant". En mer diffus mängd bör tolkas som att mängden är mer diffus eller har en låg grad av kunskap, vilket inte är applicerbart på mängder modifierade enligt signifikansgraden. Hur diffus en mängd är ska bero på det åsatta lingvistiska värdet och inte på vem som har åsatt detta värde.

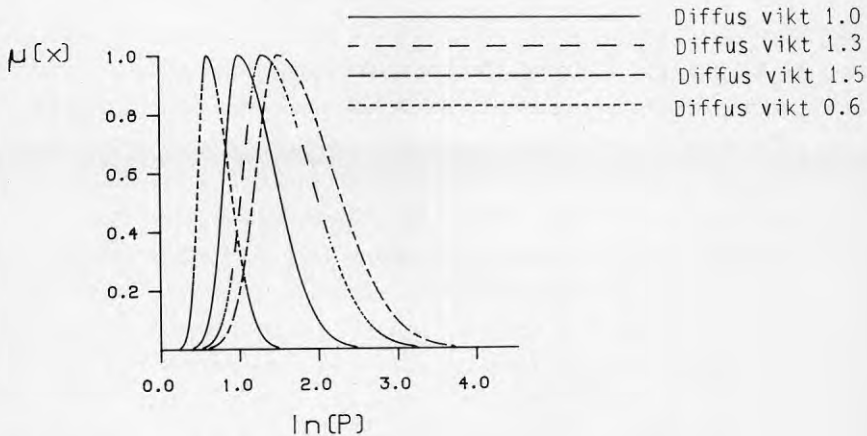
Ett alternativt förfarande till en modifierarfunktion är att signifikansgraden används som en viktsfaktor i en medelvärdesbildning. Denna viktsfaktor kan vara ett diffust tal eftersom grad av signifikans knappast kan anges med en numerisk exakthet utan, tvärtom, utgör ett typiskt exempel på en diffus mängd.

För viktsfaktorer w_i används andra värden än för parametern α_i i modifierarfunktionen, se tabell 4.6. Detta eftersom w_i inte påverkar resultatet på samma sätt som α_i . Värdena på w_i i tabell 4.6 har valts så att de ger likartade resultat som α_i , annars skulle nog viktsfaktorn för extremt signifikant erhållit ett högre värde än 1.5.

Tabell 4.6 Värden för grad av signifikans

Grad av signifikans	w_i	α_i
Inte signifikant	0.6	0.5
signifikant	1.0	1.0
Mycket signifikant	1.3	1.5
Extremt signifikant	1.5	2.0

När dessa viktsfaktorer betraktas som diffusa tal kan funktionerna enligt FIG 4.16 användas. Dessa är bestämda enligt antagandet att en vikt 2.5 gånger värdet på w_i har det diffusa värdet 0 och funktionen varierar enligt e^{-x} däremellan. Motsvarande gäller för vikter $< w_i$, det vill säga att vikten $w_i/2.5$ har det diffusa värdet 0. Detta ger, som synes i FIG 4.16, upphov till icke symmetriska medlemskapsfunktioner.



Figur 4.16 Diffusa viktfaktorer

När icke diffusa parametrar ska kombineras är det naturligaste alternativet att detta utförs via en viktad medelvärdesbildning. En sådan medelvärdesbildning kan utvidgas till att gälla även för diffusa mängder. Dock gäller det att kontrollera att en sådan utvidgning inte strider mot grundförutsättningarna för en medelvärdesbildning, till exempel ska gälla att:

$$\frac{\text{Diffus vikt}1.0*\text{normal betydelse}+\text{diffus vikt}1.0*\text{normal betydelse}}{\text{diffus vikt } 1.0 + \text{diffus vikt } 1.0} =$$

$$= \text{normal betydelse}$$

Detta gäller för en viktad diffus medelvärdesbildning under förutsättningen att täljare och nämnare beräknas samtidigt och med beaktande av samma viktsfaktor. Till exempel kan viktsvärdet 0.7 (med medlemskapsfunktionsvärdet 0.26) bara användas i beräkning av sumnavikten om det samtidigt används i beräkningen av viktad betydelse i täljaren. Om beräkning av täljare och nämnare däremot separeras blir slutresultatet annorlunda och uppfyller ej kravet enligt ovan.

Istället för en viktad medelvärdesbildning föreslog Elms en kombination via den svaga operatorm för snitt, jämför avsnitten 3.4.2 och 3.2.1. Detta förfarande kan dock diskuteras enär ett antal nackdelar kan identifieras. Till exempel så ger en kombination av "normal betydelse" och "normal betydelse" inte svaret "normal betydelse" utan, istället, en mängd som vad avser spridning är mindre diffus. Ytterligare kombinationer med "normal betydelse" ger som gränsvärde en mängd med bara ett värde $\neq 0$, det vill säga en icke diffus mängd. Att flera personer åsätter värdet att en konstruktion är av normal betydelse bör ju knappast medföra att mängden "normal betydelse" därmed förändras.

En annan nackdel är att en kombination med den svaga operatorm för snitt normalt ger som resultat en icke normaliserad mängd. Om två personer är totalt cense förväntas som resultat en mängd som är mycket diffus. Förfarandet enligt Elms kan istället ge upphov till en tom mängd, hur nu ett sådant resultat ska kunna tolkas.

4.3.2 Exempel

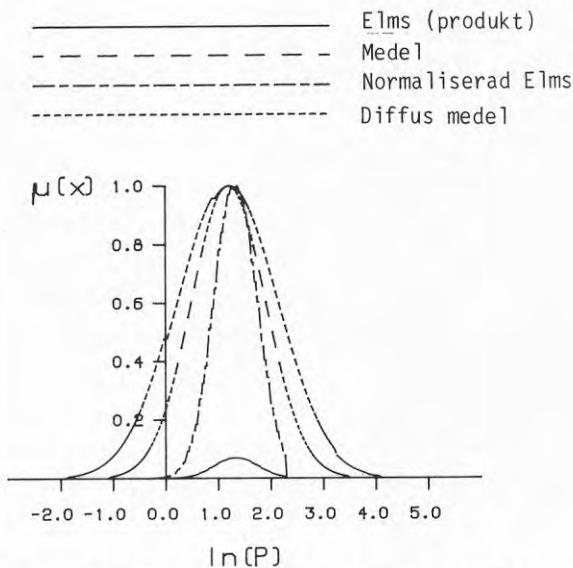
Beräkningarna nedan har utförts genom en diskretisering av kontinuerliga funktioner, jämför medlemskapsfunktionerna i FIG 4.15. 100 diskreta punkter har använts genomgående och det har befunnits att felet som denna diskretisering har medfört kan betraktas som försumbara.

Generellt bör annars stor varsamhet beaktas vid en diskretisering och om, till exempel, bara 5 punkter används kan detta leda till kraftigt störda resultat. En tätare diskretisering minskar felet på bekostnad av kraftigt ökade beräkningsinsatser. En diskretisering med så många punkter som 100 kräver givetvis datorberäkningar. Även om dessa, för en medelvärdesbildning med diffusa viktsfaktorer, utförs av en minidator blir det långa exekveringstider. Ett attraktivt alternativ har emellertid presenterats av Dong et al, 1985. Deras algoritm, DSW-algoritmen, verkar mycket effektiv och en diskretisering med endast 5 punkter kan vara tillräcklig. Kortfattat går denna ut på att istället för att diskretisera x -axeln så sker en diskretisering av y -axeln, det vill säga en diskretisering av medlemskapsfunktionsvärdena.

Det första exemplet är en förenklad analys som avser att illustrera metoden med diffus medelvärdesbildning och att jämföra denna med den metod som föreslogs av Elms. Exemplet avser en bestämning av riskfaktorn för en bank med åsättande av två personer, borgmästaren och en konstruktör.

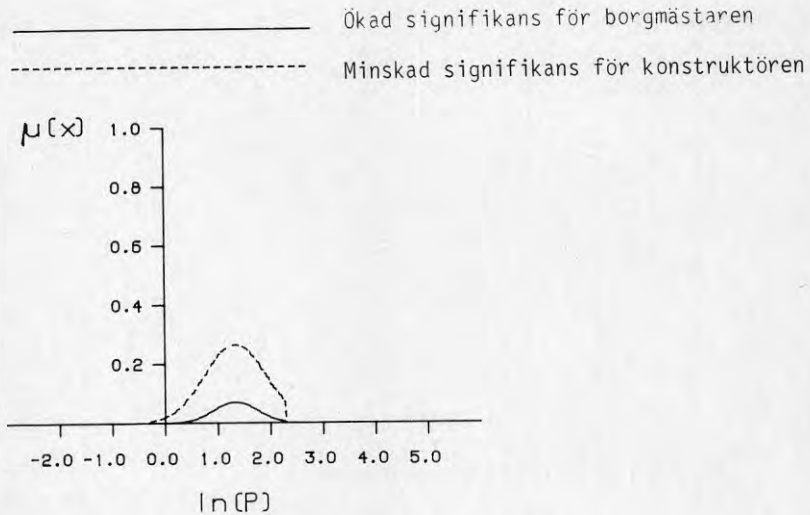
Låt borgmästarens åsättande vara att banken utgör en mycket betydelsefull byggnad medan konstruktören anser banken vara en byggnad av normal betydelse. Borgmästarens åsättande bedöms som extremt signifikant och konstruktörens åsättande bedöms som signifikant. Med användande av diffusa tal för betydelsen enligt FIG 3.9, utan beaktande av grad av kunskap, och med värden för grad av signifikans enligt tabell 4.6 erhålls resultat enligt FIG 4.17. I figuren redovisas resultatet för en diffus medelvärdesbildning med eller utan diffusa viktsfaktorer, jämför tabell

4.6 respektive FIG 4.16. Dessa ger likartade resultat men med diffusare värden för beräkningen med diffusa viktsfaktorer. Som väntat erhålls värden närmare borgmästarens åsättande än konstruktörens åsättande. Detta erhålles även med metoden enligt Elms, som också återges i FIG 4.17 med eller utan en normalisering.



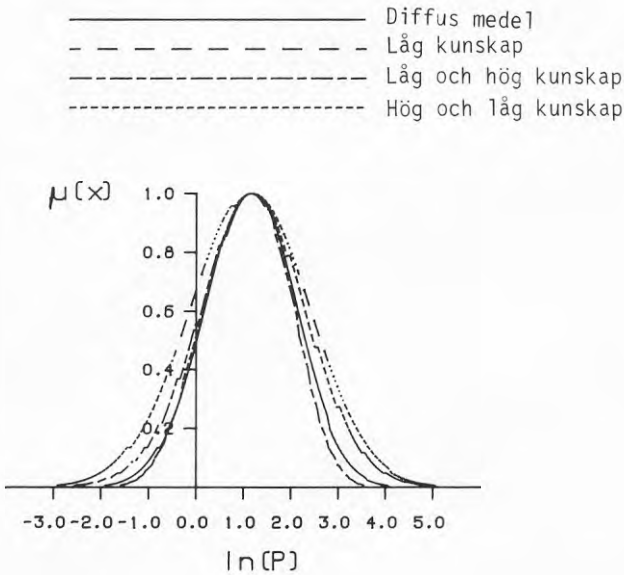
Figur 4.17 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 1

Ett rimligt antagande är att skalan för grad av signifikans inte bör påverka resultatet, det vill säga att resultatet borde bli detsamma om man istället för att höja graden av signifikans för borgmästaren sänker graden av signifikans för konstruktören. Detta gäller också för en diffus medelvärdesbildning om förhållandet mellan faktorerna w_i är oförändrat. Emellertid så gäller det inte för den alternativa metodiken enligt Elms, vilket kan utläsas i FIG 4.18. Det är svårt att finna någon motivation för dessa skillnader i de resulterande medlemskapsfunktionerna.



Figur 4.18 Jämförelse med olika grader av signifikans för metod föreslagen av Elms

Om graden av kunskap beaktas kan resultaten bli enligt FIG 4.19. I figuren jämförs olika grader av kunskap med resultatet för en diffus viktad medelvärdesbildning utan beaktande av grad av kunskap. Låg kunskap representerar ett åsättande av värdet "osäker" av såväl borgmästaren som av konstruktören. För de två kompletterande funktionerna har åsatts värdet "osäker" respektive värdet "ganska säker" med angivande av konstruktörens grad av kunskap först.



Figur 4.19 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 1 med beaktande av grad av kunskap

Resultaten enligt ovan för en diffus medelvärdesbildning uppfyller krav på rimlighet och konsekvens men däremot kan själva exemplet upplevas som förenklat och att det inte avspeglar en praktisk situation. Av den anledningen ska även resultaten från ett mer realistiskt exempel redovisas. Detta exempel kommer dock inte att diskuteras närmare utan istället hänvisas till Andersson, 1986b.

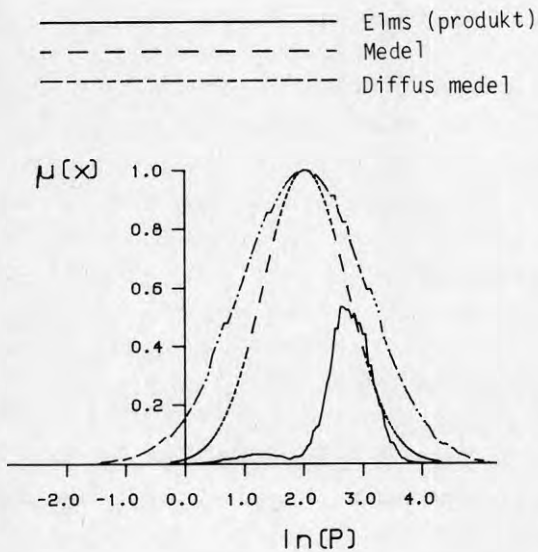
Byggnaden för detta exempel avser ett sjukhus och värden åsätts förutom av borgmästaren och av en konstruktör även av en från civilförsvaret och av en som representerar affärslivet. Deras

åsättanden för tre olika faser och grad av signifikans återges i tabell 4.7. Resultaterande medlemskapsfunktioner redovisas i FIG 4.20. Skillnaderna i resultaterande värden avser främst olika behandling av de olika faserna (Andersson, 1986b).

Tabell 4.7 Grad av signifikans och åsatta värden för exempel 2.

Grad av signifikans		
A - Konstruktör	Signifikant	
B - Civilförsvaret	Mycket signifikant	
C - Borgmästare	Extremt signifikant	
D - Affärsman	Signifikant	

Utbrott	Faser	
	Efter utbrott	Återuppbyggnad
A Extrem betydelse	Mycket betydelsefull	Mycket betydelsefull
B Extrem betydelse	Normal betydelse	Stor betydelse
C Extrem betydelse	Stor betydelse	Extrem betydelse
D Mycket betydelsefull	Stor betydelse	Mycket betydelsefull



Figur 4.20 Tillförlitlighetsfaktorer för exempel 2

Resultaten av en diffus medelvärdesbildning blir således, som har framgått av exemplen ovan, likartade de resultat som erhålles med den metod som Elms föreslog. Detta innebär dock inte att metoderna kan jämföras eftersom det i detta och i det föregående avsnittet har påvisats ett antal nackdelar och inkonsekventa resultat som kan erhållas med metodiken enligt Elms.

4.3.3 Utvärdering

I de föregående avsnitten har presenterats en metod för sammanjämföring av subjektiva värderingar. Metodiken baseras på en utvidgning av "normal" medelvärdesbildning till att beakta diffusa mängder och diffusa viktsfaktorer. Som har framgått av diskussionen och exemplen ovan är denna metodik att föredra jämfört med den metodik som tidigare har föreslagits av Elms, 1984.

Metoden beaktar osäkerheter och diffusa faktorer via åsättande av "grad av kunskap" och genom användande av diffusa viktsfaktorer. Detta medför emellertid att beräkningsarbetet blir omfattande, även med datorberäkningar, för att kunna bibehålla önskvärd precision i resultaten. Därför kan det vara värt att prova effektivare beräkningsalgoritmer än den som erhålles via en enkel diskretisering, till exempel algoritmen som presenterades i Dong et al, 1985. Dessutom kan det vara lämpligt att applicera metodiken med diffus medelvärdesbildning på andra exempel, speciellt vad avser val av medlemskapsfunktioner för de diffusa mängderna. Hitintills har metodiken bara applicerats på användningsområdet i föregående avsnitt avseende en bestämning av en riskfaktor för jordbävningsslast.

I och med att man börjar att beakta subjektiv lingvistisk information, som är vanligt förekommande i humanistiska system, uppkommer också ett behov av att kunna sammanjämka olika värderingar. Till exempel föreslog Pugsley, 1973, jämför avsnitt 3.4.2, att några erfarna personer i en expertpanel via lingvis-

tiska åsättanden ska bedöma en konstruktions brottbenägenhet. Dessa experters åsättanden kan behöva sammanvägas för att erhålla ett enskilda värde som avser konstruktionens brottbenägenhet. Blockley som fortsatte i Pugsleys spår föreslog också en bedömning av en expertpanel och i exemplet i avsnitt 4.1.2 användes 3 personer för att avge åsättanden i en riskindikation.

En annan tänkbar applikation kan vara att använda metodiken inom Delphi metoden. Kortfattat innebär denna metod att man låter ett antal experter anonymt framlägga sin åsikt i någon fråga, till exempel angående lämpligt värde för normlast på bjälklag. Genom att man har flera Delphi-rundor, där resultaten i föregående rond presenteras statistiskt, kan man konvergera mot en majoritetsåsikt. Istället för att presentera resultaten av föregående rond statistiskt kan en idé vara att presentera resultaten som diffusa tal och med diffus medelvärdesbildning.

Som en sammanfattande slutsats kan konstateras att en viktad diffus medelvärdesbildning ger konsekventa resultat och kan rekommenderas för en sammanjämkning av lingvistiska värderingar eller åsättanden.

5 SLUTSATSER

Detta kapitel ska först inledas med en kort resumé över de tidigare kapitlen. Därefter ska de egentliga slutsatserna presenteras följt av rekommendationer för fortsatt forskning och metodutveckling.

I kapitel 2 har diskuterats byggnadsindustrins behov av metoder för riskanalys och beslutsfattande. Denna diskussion baserades på en översikt av befintliga metoder inom andra industrigrenar och på en beskrivning av byggbranschens särart. Därvid kunde konstateras att vad byggnadsindustrin behöver utveckla är enkla, och ej speciellt informations- eller precisionskrävande, metoder för analys av humanistiska system. Dessa kan tas fram genom att befintliga metoder anpassas till byggnadsindustrins förhållanden eller genom en utveckling av helt nya metoder. Dessutom kunde i kapitel 2 konstateras att det finns klara indikationer på, och ett behov av, att användningen av riskanalys kommer att öka inom byggnadsindustrin inom en snar framtid. Användningen idag är dock rätt begränsad.

Teorin om diffusa mängder är en teori avsedd att vara tillämpbar för humanistiska system. Karakteristiskt för dessa system är att en viktig del av tillgänglig information utgörs av subjektiv lingvistisk information. Diffusa mängder kan därmed vara applicerbara inom de nya riskanalytiska metoder som behöver utvecklas. Därav den teoretiska presentationen av teorin om diffusa mängder, med närliggande teorier såsom diffus logik och möjlighetsteorin, i kapitel 3. Kapitlet avslutades med en genomgång av metoder och ideer som har presenterats, med en speciell inriktning på riskanalys och på byggnadsindustrin. Det framkom att det sker en stadig ökning av forsknings- och utvecklingsinsatserna rörande diffusa mängder och att man under de senaste åren har börjat tillämpa teorin i praktiskt bruk, även för byggnadsindustriella tillämpningar.

I kapitel 4 presenterades, ingående med en teoretisk genomgång följt av exempel, 3 nya metoder anpassade till byggnadsindustrins behov och baserade på teorin om diffusa mängder. Gemensamt för dessa metoder är att de har framtagits inom Institutio-

nen för Brobyggnad, KTH, och att de är avsedda att vara applicerbara för beslutsfattande och riskanalys.

Den första metoden, riskindikation, är en metod som baserats på traditionella metoder, främst felträdsanalys, och är avsedd att vara en metod för att identifiera ett systems riskfaktorer och att indikera behov av förändrade kontrollinsatser. Dessutom kan felhändelserna rangordnas. Metoden bedömdes uppfylla ställda krav och en vidareutveckling rekommenderades.

Riskrangordning presenterades som den andra nyligen framtagna metoden med avsikten att möjliggöra en enkel jämförelse mellan olika alternativ med avseende på riskfaktorer. Jämfört med riskindikation blev den slutliga bedömningen inte lika odelat positiv men med slutsatsen att den presenterade metoden kan utgöra ett användbart koncept. Främsta tveksamheten gäller behovet av, och motiven för, att utföra en riskrangordning.

Som tredje och sista metod presenterades sammanjämkning av subjektiva värderingar. Metodiken baseras på en diffus viktad medelvärdesbildning och den jämfördes med en alternativ metodik som tidigare presenterats av Elms, 1984. Slutsatserna var att det, i och med att man nu inriktar sig på analyser av humanistiska system, har vuxit fram ett behov av en metodik för att kunna sammanjämka subjektiva värderingar, till exempel från olika experter, och att den föreslagna metodiken kan rekommenderas framför den metodik som föreslagits av Elms.

Metoderna bedömdes, sammanfattningsvis, således positivt men med påpekanden att de hitintills bara har uttestats på ett fåtal exempel. Dessutom kan behov finnas av en revidering och vidareutveckling av metoderna, vilket främst kan sägas gälla riskrangordning. En vidareutveckling rekommenderas parallellt med en uttestning på alltmer realistiska exempel.

Dessa 3 nya metoder avser olika speciella applikationer och skulle enkelt kunna flerfaldigas, förutsatt tillgängliga resurser. Som framgick i kapitel 3 är ju också insatserna inom byggnadsindustrin rörande diffusa mängder exponentiellt växande. Detta eftersom allt fler inser behovet av en teori, som teorin

om diffusa mängder, avsedd att möjliggöra en behandling av humanistiska system.

En slutsats blir att teorin om diffusa mängder bör vara användbar för byggnadsindustriella tillämpningar inom riskanalysen. Teorin används då främst vad avser den kvantitativa analysen. Samtidigt är det mycket viktigt att betona att den kvalitativa analysen för humanistiska system måste bedömas som minst lika viktig, och ofta viktigare, än den kvantitativa utvärderingen. Detta borde vara självklart men trots detta har det i utförda analyser, inom alla discipliner, varit en konstant överbetoning på den kvantitativa utvärderingen. Dessutom har resultaten från utförda analyser ofta presenterats med ett enda enstaka sannolikhetsvärde, ett värde som hänför sig till den kvantitativa analysen och som lätt kan misstolkas. Detta kan endast förklaras med att, återigen, påpeka teknikernas ständiga överbetoning på formler och numeriska beräkningar.

Diffusa mängder är inget undermedel som på något mystiskt och oförklarligt sätt återspeglar den mänskliga intuitionen. Däremot kan teorin vara användbar för situationer med begränsad och subjektiv information eftersom teorin, i kontrast till sannolikhetsteorin, inte har några stränga krav på reperterbarhet och på oberoende händelser. Detta resulterar dock i att resultaten inte kan bli lika entydiga. Istället är det ett bevis på att man aldrig kan få mer ut av en analys än vad den bakomliggande modellen och teorin medger.

Användningen av, och forskningen om, diffusa mängder inom byggnadsindustrin startade på allvar först på 80-talet. Detta medför att det fortfarande finns ett grundläggande forskningsbehov och att det kan dröja några år innan teorin på allvar kan börja tillämpas i en större skala.

Slutsummering:

Metoder för riskanalys och beslutsfattande som baseras på teorin om diffusa mängder, och på möjlighetsteorin, fyller ett befintligt behov och kommer att fortsätta att utvecklas i rask takt.

REFERENSER

- Andersson, L, 1982, Säkerhetsanalys av byggnadskonstruktioner med speciell inriktning på "fuzzy sets", Meddelande 2/82, Institutionen för Brobyggnad, KTH.
- Andersson, L, 1985, Indication of risk - An example based on the theory of fuzzy sets, Meddelande 3/85, Institutionen för Brobyggnad, KTH.
- Andersson, L, 1986a, Fuzzy ordering - A method for comparison of design alternatives according to risk, Meddelande 1/86, Institutionen för Brobyggnad, KTH.
- Andersson, L, 1986b, Merging subjective opinions - A discussion on possible fuzzy set based methods, Meddelande 2/86, Institutionen för Brobyggnad, KTH.
- Blockley, D I, 1977, Analysis of structural failures, Proc. Instn. Civ. Engrs., 62, pp 57-74.
- Blockley, D I, 1979, The rule of fuzzy sets in civil engineering, Fuzzy Sets and Systems, 2, pp 267-278.
- Blockley, D I, 1980, The nature of structural design and safety, Ellis Horwood, Chichester.
- Blockley, D I, 1981, Logical analysis of structural failure, Journal of Eng. Mech. Div., ASCE, 107, pp 355-365.
- Blockley, D I, 1984, Structural safety as inferred from a fuzzy relational knowledge base, University of Bristol, UK.
- Blockley, D I, 1985, Fuzziness and probability - A discussion of Gaines' axioms, Civ. Engng. Syst., Vol 2, No 4, pp 195-200.

- Ditlevsen, O, 1984, Probabilistic Thinking - An imperative in engineering modelling, R192, Dep. of Structural Eng., Tech. Univ. of Denmark.
- Dong, W H, Shah, H C, Wong, F S, 1985, Fuzzy computations in risk and decision analysis, Civ. Engng. Syst., Vol 2, No 4, pp 201-208.
- Dubois, D, Prade, H, 1980, Fuzzy sets and systems - Theory and applications, Academic Press.
- Elms, D G, 1984, Use of fuzzy sets in developing code risk factors, Civ. Engng. Syst., Vol 1, No 4, pp 178-184.
- Funtowicz, S O, Ravetz, J R, 1984, Policy related research - A notational scheme for the expression of quantitative technical information, Dep of Philosophy, The Univ. Leeds, UK.
- Furuta, H, Shiraishi, N, 1984, Fuzzy importance in fault tree analysis, Fuzzy Sets and Systems, 12, pp 205-213.
- Garribba, S Lucia, A C, Volta, G, 1985, Possibility logic applied to residual lifetime prediction, Proc. of ICOSSAR 85, IASSAR, pp III-279-290.
- Hovden, J, 1979, Vurdering av ulykkesrisiko, Tapir, Trondheim.
- Håstrup, P, 1984, Design error in the chemical industry, Risø-R-500, Risø National Laboratory, Roskilde.
- Ishizuka, M, Fu, K S, Yao, J T P, 1982, A rule-based inference with fuzzy sets for structural damage assessment, Approx. reasoning in decision analysis, M M Gupta & E Sanches (eds.), North-Holland Publishing Company, pp 261-268.
- Larsen, P M, 1980, Industrial applications of fuzzy logic control, Int. Journal Man Machine Studies, 12, pp 3-10.

Nishiwaki, Y, 1986, Possible application of fuzzy set theory to nuclear safety analysis - Risk perception and Nuclear plant siting evaluation, Proc. Int. Workshop on Fuzzy Sets Applications, Akademie-Verlag, Berlin.

Ogawa, H, Fu, K S, Yao, J T P, 1985, A knowledge-based approach for safety assessment of existing structure, Proc. of ICOSSAR 85, IASSAR, pp III-596-600.

Olson, J J, 1984, Modified fault tree analysis - A method for obtaining an indication of risk, Master thesis, Univ. of Washington.

Pugsley, A, 1973, The prediction of proneness to structural accidents, The Structural Engineer, No 6, Vol 51, pp 195-196.

Schmucker, K J, 1984, Fuzzy sets - Natural language and risk analysis, Computer Science Press, Rockville, MA.

Zadeh, L A, 1965, Fuzzy sets, Information and Control, 8, pp 338-353.

Zadeh, L A, 1973, Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., 3, pp 28-44.

Zadeh, L A, 1978, Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp 3-28.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821769-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för
brobyggnad, KTH, Stockholm.**

R23: 1988

ISBN 91-540-4862-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708023

**Abonnemangsgrupp:
Y. Byggnadsfunktion
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 54 kr exkl moms