



LUND UNIVERSITY

Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings säkerhet

Lundin, Johan

2004

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Lundin, J. (2004). *Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings säkerhet*. (LUTVDG/TVBB--3129--SE; Vol. 3129). Fire Safety Engineering and Systems Safety.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings- säkerhet

Johan Lundin

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 3129, Lund 2004

Rapporten är finansierad av Brandforsk och SBUF

Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings- säkerhet

Johan Lundin

Lund 2004

Rapporten är finansierad av Brandforsk och SBUF

Acceptabel risk vid dimensionering av utrymningssäkerhet

Fire safety design and acceptable risk

Johan Lundin

Report 3129

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—3129--SE

Antal sidor: 164

Illustrationer och figurer: Johan Lundin

Sökord: acceptabel risk, funktionsbaserad dimensionering, utrymningssäkerhet, riskbaserad, förenklad dimensionering.

Keywords: acceptable risk, performance-based design, life safety, risk-based, prescriptive design.

Abstract: In fire safety design based on fire safety engineering (FSE) principles trial evaluation of different design solutions is a well established methodology in order to verify equivalent safety. However, there is a lack of recommendation on which analysis method to use when verification is made. An evaluation of fire protection documentations where FSE were used have been carried out with emphasis on selection of: method, scope and depth of analysis, risk measure and criteria used in the verification. To address some of the problems discovered the appropriateness of different risk measures was evaluated. Efforts have been made to determine how a risk level can be derived in an appropriate format for verification of FSE-designs. In the building code the acceptable risk is implicitly defined as risk that results from the prescriptive design method. Attempts are made to quantify this risk level and study how it varies for a class of buildings.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2004.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Projektet *Acceptabel risk vid dimensionering av utrymningssäkerhet* har bedrivits under tiden 2001 till 2004. Projektet kan ses som en logisk följd till tre inledande projekt inom området som utförts vid LTH – Brandteknik:

- Brandteknisk dimensionering baserad på beräkning.
- Funktionsbaserad brandteknisk dimensionering.
- Dimensionering efter beräknad risk: Säkerhetsfaktorer, riskanalys och kostnads-effektivitet.

Dessa projekt redovisas i två sammanfattningsrapporter (Frantzich & Lundin, 2000; Magnusson, Frantzich & Lundin, 1997).

Projektet har finansierats av Brandforsk vilket är statens, försäkringsbranschens och näringslivets gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning samt av Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF). Projektet är kopplat till följande projektnummer för respektive anslagsgivare:

- Brandforsk: 319-011
- SBUF: 1011

Till projektet har en referensgrupp varit knuten med följande representanter:

- Staffan Abrahamsson, Boverket
- Christian Ståleker, Brandkonsulten AB
- Staffan Bengtson, Brandskyddslaget
- Göran Davidsson, Det Norske Veritas
- Eva-Marie Abrahamsson, Helsingborgs brandförsvär
- Håkan Frantzich (projektledare), LTH - Brandteknik
- Robert Jönsson, LTH - Brandteknik
- Johan Lundin, LTH - Brandteknik
- Hans Ohlson, Stockholms stadsbyggnadskontor
- Jan Rasmusson, NCC AB
- Margareta Nisser, Räddningsverket
- Fredrik Nystedt, Öresund Safety Advisers AB

Projektet har redovisats i rapportform och kommer även att presenteras i artikelform samt som presentationer vid internationella konferenser och seminarier.

Ett stort tack riktas till Daniel Gojkovic vid avdelningen för Brandteknik som assisterat med CFD-beräkningar under projektets gång. Dessutom riktas ett särskilt tack till Tobias Jansson och Fredric Hermansson vid P&B Brandkonsult AB samt Tobias Persson vid Bengt Dahlgren AB för värdefulla synpunkter.

Sammanfattning

Vid analytisk dimensionering av brandskyddet i en byggnad är en riskvärdering nödvändig för att verifiera att en lösning är tillräckligt säkert för att uppnå kraven i Boverkets byggregler (BBR). Att värderingen av risk sker på ett trovärdigt och tillförlitligt sätt är en förutsättning för att verifiering ska utgöra ett kvitto på att byggreglerna efterlevs. Det är också en förutsättning för att kontroll av projekteringen skall kunna ske och att eventuella felaktigheter ska kunna identifieras. Vid en genomgång av de tillvägagångssätt som används vid projektering framkom att kvalitén vid verifiering ofta är otillräcklig. En starkt bidragande orsak är att vägledning saknas. I föreskriften ges knapphändig vägledning om: tillvägagångssätt, val av analysmetod, beräkningsmodeller, riskmått och indata. Enligt tidigare studier finns det anledning att bekymra sig.

Syftet med det här projektet är att belysa problematiken i samband med värdering av risk vid brandteknisk dimensionering av utrymningssäkerhet. Arbetet har framförallt inriktats på att studera:

- hur risken varierar i en klass av byggnader där förenklad dimensionering tillämpats,
- hur olika riskmått lämpar sig att användas vid analys och värdering av brandrisk,
- riskbidraget från allvarliga bränder,
- brister i tillvägagångssätt som idag tillämpas vid verifiering samt
- hur risknivån i förenklad dimensionering kan användas som underlag vid verifiering av en analytisk dimensionering.

En riskanalysmetod utvecklades och applicerades på en kyrka som även är representativ för andra typer av samlingslokaler, t.ex. föreläsningsslokaler, klassrum och biograf. I riskanalysen studerades riskbidraget från två typbränder, dels en brand i en samlingslokal och dels en brand i ett intilliggande utrymme. För varje typbrand analyserades ett stort antal möjliga situationer (scenarier).

En omfattande känslighetsanalys av riskberäkningarna utfördes genom att indata varierades systematiskt och effekten på utdata analyserades. Analysen syftade till att identifiera vilka variabler som påverkade den beräknade risken mest. Dessutom har förmågan att återspegla förändringen i risk hos olika typer av riskmått studerats. Ambitionen var både att utvärdera vilka riskmått som lämpade sig för att använda vid värdering av risk, men även vilket eller vilka riskmått som kan användas för att studera variationen i risknivå för en klass av byggnader. Slutligen valdes riskmått medelrisk, individrisk och individrisk för den sämst belägna personen för att studera risknivån till följd av förenklad dimensionering i en osäkerhetsanalys för en hel klass av samlingslokaler.

Klassen av byggnader definierades genom variationsintervall för variablerna area och höjd. Variationen i risknivå visade sig vara stor för den aktuella typen av samlingslokaler. Detta är känt sedan tidigare, men de undersökningarna har utförts med riskmått som baseras på enstaka scenarier. I riskanalysen i detta projekt studerades olika typbränder och en större uppsättning scenarier. I osäkerhetsanalysen konstaterades att:

- i vissa lokaler är risknivån väsentligt högre än den genomsnittliga nivån,
- mindre lokaler, speciellt med låg takhöjd, utmärker sig tydligast,
- andra variabler som har stor inverkan på risknivån är antalet personer i byggnaden och antalet utgångar och

-
- det är nödvändigt att ta hänsyn till riskbidraget från lite allvarligare bränder än vad som normalt studeras vid verifiering. Ett sådant exempel är när en brand startar i ett intilliggande utrymme.

Slutsatsen blir att det är nödvändigt att utveckla en verifieringsmetodik som även väger in riskbidraget från fler än några enstaka scenarier när bedömningen görs om en byggnad är tillräckligt säker eller inte.

I rapporten lämnas förslag på hur spridningen i risknivå till följd av förenklad dimensionering kan reduceras. Med riskanalysmetodiken går det att studera hur effekten av en förändring av förenklad dimensionering påverkar risknivån. En sådan analys är nödvändig om utvecklingen av förenklad dimensionering ska anses vara vetenskapligt grundad och inte enbart baseras på bedömningar. Projektet resulterar i följande övergripande slutsatser:

- En revision av förenklad dimensionering förefaller vara nödvändig. Risknivån varierar mycket för den typ av samlingslokaler som studeras. För vissa lokaler bedöms risknivån vara så hög att det kan ifrågasättas om den verkligen är acceptabel.
- Det saknas dimensioneringskriterier att använda vid analytisk dimensionering. En relativ jämförelse med förenklad dimensionering är idag det enda sätt att visa att kraven i byggreglerna efterlevs.
- Tydligare riktlinjer måste tas fram för värdering av risk vid verifiering. Dessa riktlinjer syftar till att säkerställa kvalitén på byggnadstekniskt brandskydd.
- Vid verifiering är det nödvändigt att värdera alla scenarier vars riskbidrag påverkas i samband med analytisk dimensionering, för att kunna uttala sig om den totala risken blivit högre eller lägre vid förenklad dimensionering.
- Grova fel och extrema händelser är inte lämpliga att hantera med analytisk dimensionering. I stället bör andra typer av åtgärder användas, t.ex. systematiskt brandskyddsarbete.

Om ambitionen finns att sänka risknivån till följd av förenklad dimensionering rekommenderas följande:

- Automatisk detektion av brand i intilliggande utrymmen till samlingslokaler.
- Begränsa personantalet i samlingslokaler eller dimensionera för det antal som maximalt kan nyttja lokalen.
- Höj säkerheten i små lokaler med låg takhöjd, t.ex. genom att kräva fler utgångar eller genom andra skyddsåtgärder som kopplas till lokalens volym.

Summary

In fire safety design based on engineering principles verification is a key component. During the verification process the designer verifies that the proposed design solution meets the safety requirements, i.e. it is safe enough. Since there is no explicit level of safety stated in any building code that can be used as a threshold level to compare engineering designs with, the acceptable safety level is defined by the safety achieved when the prescriptive design method is used. Verification is therefore often performed as a trial evaluation, where the objective is to find a solution which is as safe as or safer than the prescriptive solution.

Furthermore, no recommendation is given in the Swedish building code on which risk method to use in the trial evaluation. Neither is guidance given on selection of risk measure, scope and depth of analysis, input data or treatment of uncertainty. In a study of over 40 fire protection documentation the approaches used for verification were examined. One finding was a lack of quality in the verification, both concerning the documentation and the verification approach taken.

The purpose of this project is to highlight some of the problems associated with risk assessment in trial evaluation. The main objective has been to study:

- How the risk level can vary within a class of buildings designed with the prescriptive design method.
- How appropriate different risk measures are to use when performing a trial evaluation.
- Inadequacies in the approaches commonly used in verification.
- How the risk level resulting from prescriptive design can be used as an acceptance criterion in the fire safety engineering method.

A risk analysis method is applied on to investigate the fire safety of a specific type of assembly hall. Two different types of fires were included in the analysis. One fire that starts within the assembly hall and one fire that starts in an adjacent room. A sensitivity analysis was carried out where the effect on the output data when varying input data was studied. The results was used to analyze which variables that had the highest impact on the risk level and the ability of different risk measures to illustrate how the total risk was affected when input data was varied. The most significant variables and the measures that best reflected the total risk were studied in greater detail using uncertainty analysis. The uncertainty in input data for a specific building and a class of buildings designed with the prescriptive method were propagated through the risk calculations. In the uncertainty analysis it was concluded that:

- When the prescriptive method has been used for the studied class of buildings, the variation of risk is large. In some of the buildings, within the class, the risk level was over one order of magnitude higher than the average risk level in the class.
- Small assembly halls, especially with low ceiling height, are overrepresented in the group of buildings with high risk level.
- Additional variables with high impact on the risk level are the number of occupants in the building and the number of exits.

-
- The risk contribution from severe fires with low probability, e.g. fires that starts in adjacent rooms, is significant and likely to be affected when the fire safety design is modified. These fires are often not examined in verification.

Suggestions are given on how to reduce the variation of risk as a result of the prescriptive design method for the class of buildings subject for analysis. The risk analysis method presented in this report can be used in order to analyze the effect of modifications made to a building designed using the prescriptive method. Such an analysis is necessary if the development of the prescriptive design method is to be considered scientifically based. In the project the following conclusions are drawn:

- A revision of the prescriptive design method seems necessary due to the large variation in risk level. For some assembly halls it can be questioned if the risk level is acceptable.
- Absolute quantitative risk-based design criteria are not available to use for verification of fire safety engineering designs. A relative comparison with a prescriptive design in a trial evaluation seems to be the most appropriate method.
- In such a trial evaluation it is necessary to consider the risk contribution from all significant scenarios, including fires in adjacent rooms and scenarios when fire safety systems fail. Otherwise it is likely that errors in the design solutions are not identified in the verification process.
- More guidance for performing verification has to be developed. Many approaches used in trial evaluation are insufficient to safe-guard the fire safety.
- Gross errors and extreme events are not suitable to assess with technical fire safety measures. Instead, management systems seem like the most effective type of measure where organization, education, routines etc. are addressed.

The following modifications to the prescriptive design method are suggested in order to reduce the risk level:

- Automatic fire detection in adjacent rooms to assembly halls.
- Enforce restrictions of the number of occupants or design the escape routs for the maximum number of persons likely to visit the building.
- Improve the fire safety in small buildings, especially with low ceiling heights, e.g. by demanding more exits or other fire safety measures.

Innehållsförteckning

FÖRORD	I
SAMMANFATTNING	III
SUMMARY	V
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	VII
1 INLEDNING	1
1.1 INTRODUKTION	1
1.2 PROBLEMSTÄLLNING	2
1.2.1 <i>Brist på vedertagen dimensioneringsmetodik</i>	2
1.2.2 <i>Avsaknad av dimensionerande scenario</i>	3
1.2.3 <i>Urholkning av brandskyddet vid allvarliga bränder</i>	4
1.3 SYFTE & MÅL	5
1.4 AVGRÄNSNINGAR	6
1.5 METOD OCH TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	6
1.5.1 <i>Risikanalysmetod (kapitel 3, 4 & 5)</i>	7
1.5.2 <i>Känslighetsanalys (kapitel 6)</i>	7
1.5.3 <i>Osäkerhetsanalys (kapitel 7)</i>	7
1.5.4 <i>Tillämpning av resultat och diskussion (kapitel 8 & 9)</i>	7
2 ALLMÄN BAKGRUND	9
2.1 VERIFIERING AV BRANDRISK VID DIMENSIONERING	9
2.1.1 <i>Verifiering med beräkningsmetoder</i>	9
2.1.2 <i>Kvaliteten vid verifiering</i>	10
2.2 ANALYS OCH VÄRDERING AV BRANDRISK	12
2.2.1 <i>Risk och riskanalys</i>	12
2.2.2 <i>Riskmått</i>	13
2.2.3 <i>Osäkerhetsanalys</i>	14
2.2.4 <i>Acceptabel risknivå</i>	15
3 BRANDRISK OCH DIMENSIONERING AV UTRYMNINGSSÄKERHET	19
3.1 DET BREDA SPEKTRAT AV OLYCKOR	19
3.2 HANTERING AV OLYCKSKATEGORIerna VID DIMENSIONERING	20
3.3 ÖVERGRIPANDE MODELL FÖR ANALYS OCH VÄRDERING AV BRANDRISK	21
3.3.1 <i>Analys vid verifiering</i>	21
3.3.2 <i>Generell metodik</i>	21
3.3.3 <i>Värdering av acceptabel risk</i>	23
3.4 EXTREMA HÄNDELSER & GROVA FEL	24
3.4.1 <i>Extrema händelser</i>	24
3.4.2 <i>Grova fel</i>	24
3.4.3 <i>Systematiskt säkerhetsarbete</i>	26
3.4.4 <i>Brister vid identifiering av grova fel i byggprocessen</i>	27
4 METOD FÖR RISKANALYS	29
4.1 BERÄKNING AV SANNOLIKHET	30
4.2 BERÄKNING AV KONSEKVENNS	30
4.3 RISKMÅTT (R)	31
4.3.1 <i>Individrisk</i>	32
4.3.2 <i>Samhällsrisk</i>	32
4.3.3 <i>En kombination av riskmått</i>	33
4.4 KÄNSLIGHETSANALYS	33
4.5 OSÄKERHETSANALYS AV RISKBERÄKNINGARNA	34
4.6 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ANALYSEN	34
5 BYGGNADSTYP – BESKRIVNING OCH INDATA	35

5.1	TVÅ TYPBRÄNDER	35
5.1.1	<i>Sannolikheter och tillförlitlighetsdata</i>	36
5.1.2	<i>Typbrand 1 – Brand i samlingslokalen</i>	37
5.1.3	<i>Typbrand 2 – Brand i ett intilliggande utrymme</i>	39
5.2	INDATA TILL MODELLERING AV BRANDFÖRLOPP	40
5.2.1	<i>Geometri för referensbyggnaden</i>	40
5.2.2	<i>Effektutveckling</i>	41
5.3	INDATA TILL MODELLERING AV UTRYMNINGSFÖRLOPP	41
5.3.1	<i>Detektionstid</i>	41
5.3.2	<i>Besluts- och reaktionstid</i>	41
5.3.3	<i>Förflyttningstid</i>	41
5.4	BERÄKNING AV KONSEKVENSN	43
6	KÄNSLIGHETSANALYS	45
6.1	VARIATIONSINTERVALL	45
6.2	SAMMANSTÄLLNING AV KÄNSLIGHETSANALYSEN	47
6.2.1	<i>Analys av riskmått</i>	48
6.2.2	<i>Analys av variabler</i>	54
6.3	KOMMENTARER TILL RESULTATEN	55
7	OSÄKERHETSANALYS	57
7.1	VARIABLER	57
7.2	TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	59
7.3	VAD ANALYSERAS?	59
7.3.1	<i>Totala osäkerheten vid brand i samlingslokalen (typbrand 1)</i>	60
7.3.2	<i>Totala osäkerheten vid brand i det intilliggande utrymmet (typbrand 2)</i>	62
7.3.3	<i>Osäkerhet i variabler i grupp 1 vid brand i ett intilliggande utrymme</i>	64
7.3.4	<i>Osäkerhet i variabler i grupp 2 vid brand i ett intilliggande utrymme</i>	65
7.3.5	<i>Kommentarer till osäkerhetsanalysen</i>	67
8	TILLÄMPNING VID DIMENSIONERING	69
8.1	VARIATIONEN I RISKNIVÅN ÄR INTE ACCEPTABEL	70
8.1.1	<i>Restriktioner av variabler som inte beaktas vid förenklad dimensionering</i>	70
8.1.2	<i>Ändra befintliga parametrar i förenklad dimensionering</i>	73
8.1.3	<i>Vidareutveckling av förenklad dimensionering (införa nya variabler)</i>	74
8.2	RISKNIVÅN OCH DESS VARIATION AVSPEGLAR SAMHÄLLETETS PREFERENSER	75
8.3	RISKBASERAD VERIFIERING	76
9	DISKUSSION	79
9.1	RISKMÅTT VID VERIFIERING	79
9.1.1	<i>Scenarier då inte skyddssystem fungerar</i>	79
9.1.2	<i>Allvarliga händelser</i>	80
9.2	RISKNIVÅN TILL FÖLJD AV FÖRENKLAD DIMENSIONERING	80
9.3	TILLÄMPNING VID ANALYTISK DIMENSIONERING	81
9.4	PROBLEM VID TILLÄMPNING AV PRINCIPER FRÅN BÄRANDE KONSTRUKTIONER	81
9.4.1	<i>Funktionskravet i BBR</i>	83
9.4.2	<i>Att definiera konsekvensen med en gränstillståndsekvation</i>	84
9.4.3	<i>Att använda ett scenario för att värdera hela risken</i>	84
9.4.4	<i>Att studera en viss andel av scenarierna</i>	85
9.5	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	86
9.5.1	<i>Utveckling av förenklad dimensionering</i>	86
9.5.2	<i>Utveckling av analytisk dimensionering</i>	87
9.6	RELIABILITET OCH VALIDITET	89
9.6.1	<i>Organisatoriska faktorer</i>	89
9.6.2	<i>Modelleringstekniskt</i>	89
9.6.3	<i>Värdering av risk</i>	90
10	SLUTSATSER	91

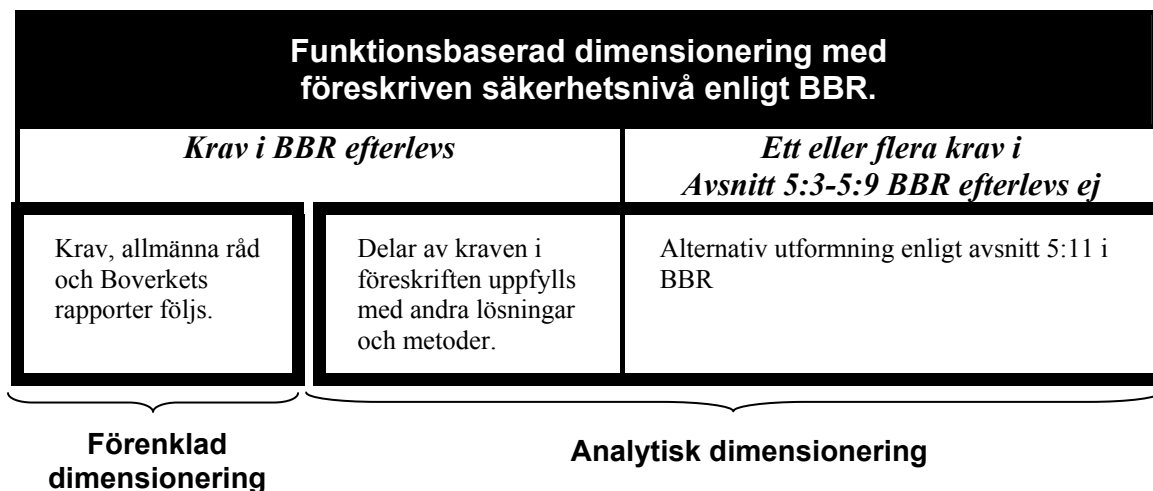
11 REFERENSER	93
FÖRTECKNING ÖVER BILAGOR	97
BILAGA A – KONSERVATIVT VAL AV DIMENSIONERANDE SCENARIER	99
FALL 1. RISKNIVÅN SKA JÄMFÖRAS MED EN ACCEPTABEL RISKNIVÅ.	100
FALL 2. RISKNIVÅN SKA UTGÖRA ACCEPTANSKRITERIUM.....	100
FALL 3. RELATIV JÄMFÖRELSE MELLAN TVÅ LÖSNINGAR	101
FALL 4. ETT ICKE KONSERVATIVT TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	101
BILAGA B – MODELLERING AV BRANDFÖRLOPP.....	103
VÄLVENTILERAD BRAND.....	103
UNDERVENTILERAD BRAND	104
BEGRÄNSNINGAR MED CFAST V.5	106
BILAGA C – JÄMFÖRELSE MELLAN CFAST OCH FDS.....	107
FÖRBRÄNNINGSMODELLEN	107
VAL AV KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	107
BILAGA D – CFAST V.5 INDATAFIL FÖR REFERENSBYGGNADEN	109
BILAGA E – ANALYTISK MODELL AV BRANDFÖRLOPPET.....	111
BRAND I SAMLINGSLOKALEN	112
BRAND I DET INTILLIGGANDE UTRYMMET	112
BILAGA F – RESULTAT FRÅN KÄNSLIGHETSANALYSEN	113
BILAGA G – RESULTAT FRÅN OSÄKERHETSANALYSEN	139
TYPBRAND 1 - BRAND I SAMLINGSLOKALEN (ALLA VARIABLER)	139
TYPBRAND 2 - BRAND I ETT INTILLIGGANDE UTRYMME (ALLA VARIABLER)	141
TYPBRAND 2 - BRAND I ETT INTILLIGGANDE UTRYMME (GRUPP 1, NATURLIG VARIATION)	143
TYPBRAND 2 - BRAND I ETT INTILLIGGANDE UTRYMME (GRUPP 2, DESIGN VARIABLER)	145
BRAND I ETT INTILLIGGANDE UTRYMME (N KONSTANT).....	147
BRAND I ETT INTILLIGGANDE UTRYMME (H BEGRÄNSAD)	149

1 Inledning

I rapportens inledande del redogörs för två olika metoder att dimensionera byggnadstekniskt brandskydd med; förenklad dimensionering och analytisk dimensionering. Därefter beskrivs ett antal kvalitetsproblem som uppmärksammats i samband med en granskning av dokumentationer där analytisk dimensionering använts. Vidare beskrivs syfte och mål med rapporten. Kapitlet avslutas med en redogörelse för hur resterande del av rapporten disponerats.

1.1 Introduktion

Syftet med brandteknisk dimensionering är att utforma det byggnadstekniska brandskyddet så att risken till följd av brand ligger på en acceptabel nivå. Det är en balansgång mellan ett acceptabelt skadeutfall (brandrisk) och en rimlig kostnad för brandskyddet som ska reducera risken. För vissa typer av byggnader blir denna balansgång tydlig. Framförallt när det finns ett tydligt samband mellan storleken på skadeutfallet och den valda brandskyddsnivån. Då är det naturligt att optimera skyddsnivån så att den totala kostnaden för brandskada och brandskydd blir så låg som möjligt. Exempel på sådana byggnader är industri- och lagerlokaler. I andra typer av lokaler, t.ex. offentliga byggnader, är inte förutsättningarna desamma. En eventuell brandskada drabbar främst 3:e man, d.v.s. personerna som vistas i byggnaden. Dessutom är värdet av byggnaderna ofta lägre än för t.ex. produktionslokaler och lokalerna är i regel fullt försäkrade. Därtill kan ägarförhållandena vara komplicerade och det ekonomiska tänkandet hos ägarna ofta kortsiktigt. För sådana byggnader är det nödvändigt att samhället ställer tydliga krav på brandsäkerhet för att skydda allmänheten. Projektören har alltså inte fria händer att själv bestämma vilken nivå som är lämplig eller acceptabel, även om byggherren skulle kunna göra stora besparingar på att sänka nivån.



Figur 1 Två olika dimensioneringsmetoder för att uppfylla samhällets krav på säkerhet.

Två olika metoder kan användas för att dimensionera brandskyddet i byggnader, se Figur 1. Oavsett vilken metod som används eftersträvas samma säkerhetsnivå. Däremot måste kravnivån uttryckas på olika sätt för att stämma överens med metoderna. Förenklad dimensionering är den mest etablerade och innebär att projektören följer detaljerade anvisningar för brandskyddet, exempelvis när det gäller det maximala gångavståndet till utrymningsvägar, antalet utrymningsvägar eller när tekniska skyddssystem såsom sprinkler och brandlarm ska användas. Metoden härstammar från tidigare föreskrifter och finns i dag beskriven i de allmänna råden i Byggreglerna (BBR, 2002) och i tekniska rapporter utgivna av Boverket,

t.ex. ”Utrymningsdimensionering” (Boverket, 2004). Förenklad dimensionering leder till en säkerhetsnivå som per definition anses vara acceptabel.

Analytisk dimensionering kallas den andra dimensioneringsmetoden och används när brandskyddet ska utformas på sätt som avviker från förenklad dimensionering. En anledning kan vara att byggnadens arkitektoniska eller funktionella utformning medför svårigheter att uppfylla ett eller flera av detaljkraven. I andra fall kan orsaken att använda analytisk dimensionering vara att hitta mer kostnadseffektiva eller innovativa lösningar. Omfattningen kan vara allt från att en annan övergripande brandskyddsstrategi bedöms vara mer lämplig till att en mindre förändring av ett visst skyddssystem önskas. Byggreglerna gör det möjligt att tillämpa analytisk dimensionering genom att visa att *andra lösningar och metoder* än vad förenklad dimensionering innebär kan används för att uppfylla funktionskraven i byggreglerna. Dessutom ges möjlighet att helt frångå eller flera funktionskrav vid *alternativ utformning*. Då krävs det att den nya lösningen är minst lika säker som om alla relevanta funktionskrav i BBR kapitel 5 följts.

Det finns ingen bestämd metodik för att ta fram en ny lösning eller modifiera en lösning som tagits fram med förenklad dimensionering. Projektören har full frihet att använda sin egen kreativitet och fantasi i kombination med exempel från andra länder, erfarenhet, tradition, praxis, försök m.m. Oavsett hur lösningen har tagits fram och vilken anledningen till att analytisk dimensionering valt var, så är det projektörens ansvar att *visa* att brandskyddet i den föreslagna lösningen är minst lika bra som om förenklad dimensionering använts. Denna procedur kallas *verifiering* och består av analys och värdering av brandrisken för att avgöra om brandsäkerheten uppfyller kraven i BBR eller inte. Analysen kan ske med hjälp beräkningsmetoder, provning, objektsspecifika försök eller en kombination av dessa enligt BBR 5:13. Objektsspecifika försök i samband med verifiering i liten omfattning, även om det förekommer projekt där det är aktuellt, t.ex. försök med glasfasader i Kista Science Tower (Delin, 2000) eller funktionstest av komplicerade ventilationssystem, t.ex. med uppvärmd teaterök. I viss utsträckning används även logiska resonemang. Att enbart basera verifieringen på ett logiskt resonemang är sällan lämpligt. För att detta överhuvud taget ska vara godtagbart krävs hänvisning till allmänt tillgängliga och relevanta utredningar, försök eller annat faktaunderlag. Att argumentera för att en lösning ska accepteras enbart baserat på spekulationer, hörsägen, erfarenhet eller hänvisning till andra projekt är inte godtagbart. Till skillnad från förenklad dimensionering råder det stor ovisshet om hur det är lämpligt att gå tillväga för att verifiera att brandskydd är tillräckligt.

1.2 Problemställning

En rad problemområden har identifierats genom att studera hur möjligheterna till förändringar av det traditionella brandskyddet utnyttjas vid analytisk dimensionering. I följande avsnitt redogörs kortfattat för dessa.

1.2.1 Brist på vedertagen dimensioneringsmetodik

Under senare år har kunskap, modeller och verktyg för att räkna på brand- och utrymningsförlopp utvecklats, men det är fortfarande oklart vad som ska mätas och analyseras för att visa att målet med dimensioneringen är uppnådd. Det saknas en vedertagen dimensioneringsmetodik.

I BBR 5:11 framgår det att när analytisk dimensionering används så ska byggnadens totala brandskydd inte blir sämre än om alla krav och allmänna råd i föreskriften efterlevs, d.v.s.

jämfört med när förenklad dimensionering tillämpats. Dessutom måste projektören visa att så är fallet. *Vad* som ska uppnås enligt BBR är alltså tydligt, men inte *hur* detta ska analyseras och redovisas. Tillvägagångssättet att uppfylla byggreglerna vid analytisk dimensionering varierar mycket och är ibland tillsynes godtyckligt och dåligt underbyggt.

Faran med godtyckliga val av tillvägagångssätt vid verifiering, d.v.s. val av metod, analysens omfattning och detaljeringsgrad, beräkningsmodeller, indata, riskmått och acceptanskriterium är uppenbar. Genom att välja en metod som inte på ett tillfredsställande sätt identifierar och analyserar brandrisken kommer kvalitén på värderingen av säkerheten att bli lidande. Undermåliga lösningar kan komma att framstå som acceptabla och lösningar som faktiskt uppfyller kraven kan underkännas. Resultatet blir i vissa fall onödigt dyra byggnader och i andra fall att byggnader som uppförs har ett undermåligt brandskydd som inte uppfyller kraven i BBR. Verifieringen blir inte det kvitto på att säkerhetsnivån som eftersträvas i BBR uppnås, vilket är verifieringens ursprungliga syfte. Trovärdigheten i analytisk dimensionering kan med rätta ifrågasättas.

1.2.2 Avsaknad av dimensionerande scenario

I strävan efter att hitta konkreta kriterier att verifiera lösningar mot, för att visa att byggnadens totala brandskydd inte blivit sämre än om förenklad dimensionering utnyttjats används ofta kraven i BBR 5:3 och BBR 5:36 som utgångspunkt.

BBR 5:3

”Byggnaden ska utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand.”

BBR 5:36

”Vid dimensionering av utrymningssäkerheten får förhållandena i byggnaden inte bli sådana att gränsvärden för kritiska förhållanden överskrids under den tid som behövs för utrymning”

Kraven tolkas som att ett gränstillstånd inte får överskridas. Gränstillståndet definieras som skillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden och brukar kallas för tidsmarginal. Med kritiska förhållanden avses en viss nivå på värme, toxicitet eller siktbarhet. Utrymningstiden består av detektions- reaktions- och förflyttningstid. Verifiering sker genom att tidsmarginalen analyseras för ett ”dimensionerande scenario”. Om tidsmarginalen är positiv anses lösningen vara tillräckligt säker.

En fördel med detta tillvägagångssätt är att det är konkret och enkelt att förstå, men samtidigt finns flera problem. En av de största bristerna är att det är oklart vilket scenario som skall väljas som det dimensionerande. Givet att en brand uppkommer i en byggnad finns ett väldigt stort antal möjliga scenarier. Gäller detta krav för alla dessa eller skall representativt scenario utses?

För scenarier där något eller några av skyddssystemen inte fungerar blir det svårt att hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Används dessa scenarier för att testa en lösning mot kriteriet att tidsmarginalen skall vara positiv blir få (eller inga) lösningar accepterade. Inte heller lösningar som tagits fram med förenklad dimensionering klarar ett sådant test, vilket både tyder på att det är orimligt att kräva att alla skall hinna utrymma i alla scenarier.

För att hantera detta problem, men fortfarande använda den inarbetade metodiken med gränstillstånd och dimensionerande scenarier, har försök gjorts att använda skadliga eller dödliga förhållande, för att definiera gränstillståndet. I praktiken innebär det att en högre konsekvens

accepteras för dessa scenarier eftersom många personer kan ha påverkats av kritiska förhållanden innan någon omkommer. Ett alternativt tillvägagångssätt som ger samma resultat är att tillåta en viss negativ tidsmarginal för dessa scenarier men fortfarande mäta konsekvensen i kritiska förhållanden. Frågan kvarstår fortfarande: ”För vilka scenarier gäller detta?”.

Det finns ytterligare problem med att definiera konsekvensen för scenarier som en tidsmarginal. När tidsmarginalen används är det svårt att utläsa antalet drabbade. Om det saknas 10 sekunder kan det innebära att en person har haft lång sträcka att gå, men det kan lika gärna innebära att 10 personer inte hinner utrymma. Om en negativ tidsmarginal på 10 sekunder är mycket eller lite beror helt på utrymningsförloppet. Vid en jämförelse mellan olika lösningar där utrymningsförloppen skiljer sig åt kan tidsmarginalen därför vara ett olämpligt riskmått. I de flesta fall är det bättre att definiera konsekvensen som det antal personer som inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår för att undvika detta problem.

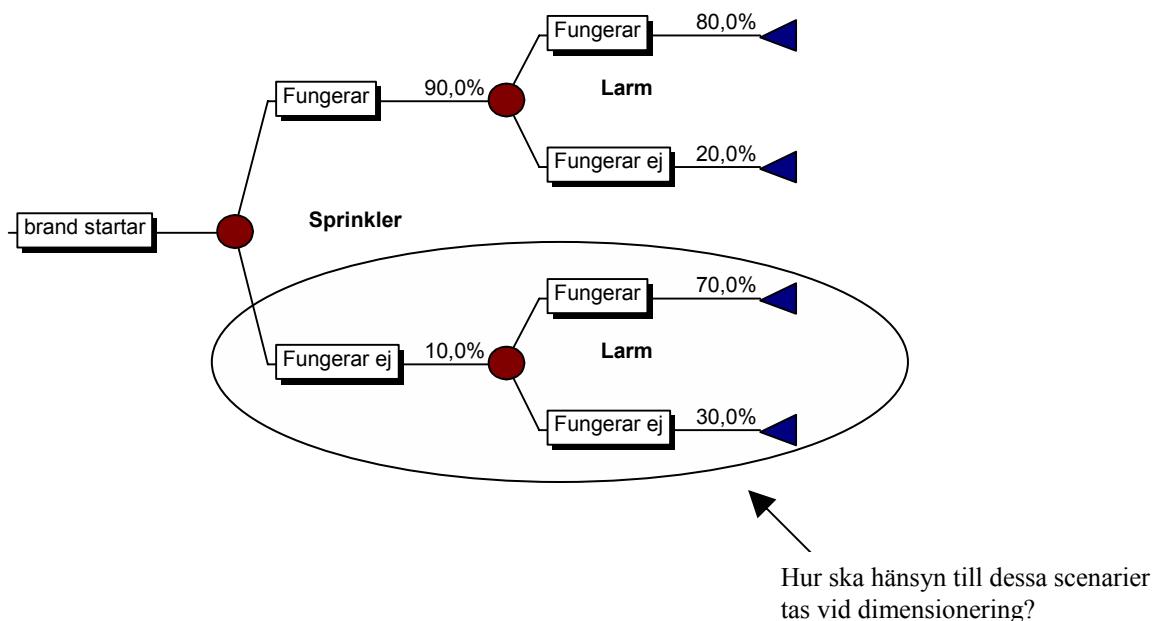
Tolkningen av funktionskravet BBR 5:36 utgör snarare en politisk målbeskrivning av det brandskydd som eftersträvas, än ett tekniskt dimensioneringskriterium. Kravet kan avspegla den önskade funktionen eller nivån hos brandskyddet när allting fungerar som det är tänkt, men är otillräckligt som dimensioneringskriterium eftersom en rad olika scenarier kan uppkomma. Det är oklart vilken funktion hos brandskyddet som är rimlig att kräva när ett eller flera skyddssystem inte fungerar. Vägledning saknas för att avgöra vilket skydd som krävs vid dessa scenarier.

Ett acceptanskriterium, t.ex. kritiska förhållanden, grundar sig egentligen inte på vad människor tål, utan måste länkas till en dimensioneringsmetodik där kriteriet bestäms mot bakgrund av metodikens förutsättningar, värden på andra indataparametrar och variabler samt de osäkerheter som finns. Vilken säkerhet en verifiering medför är en kombination av vilket kriterium som används och hur tufft scenario som testas. Att inte bestämma både kriterium och vilken brand som testet avser gör att resultatet av verifieringen blir väldigt osäkert. Syftet med acceptanskriteriet är att dimensioneringsmetodiken ska medföra att tillräcklig säkerhet uppnås. Att ange ett acceptanskriterium utan att hänvisa till en dimensioneringsmetodik leder till falska förespeglningar om att en fastställd säkerhetsnivå har uppnåtts.

Syftet med BBR och resultatet av förenklad dimensionering är att ge en acceptabel brand-säkerhet i byggnader. Denna säkerhet behöver inte innebära att alla personer kommer att hinna utrymma från en lokal innan kritiska förhållanden uppkommer i alla tänkbara situationer. Att ställa lika höga krav när brandskyddet inte fungerar som när det fungerar är lika orimligt som att fullständigt strunta i hur stora konsekvenserna blir när något är trasigt. Givet att en brand inträffar i en byggnad som dimensionerats med förenklad dimensionering kommer flera olika händelseförlopp att vara möjliga. Vissa av dem kommer tyvärr att innebära att personer i byggnaden skadas och/eller omkommer. Vilket riskmått som är lämpligt att använda vid verifiering för att beakta dessa scenarier finns ett stort behov av att utreda.

1.2.3 Urholkning av brandskyddet vid allvarliga bränder

En konsekvens av en bristfällig riskvärdering vid verifiering är att skyddet mot lite allvarligare olyckor kan reduceras vid analytisk dimensionering utan att det uppmärksammas. Skyddet som finns mot lite allvarligare bränder glöms ofta bort helt och hållet vid verifiering. Med brandskydd vid allvarliga händelser avses en byggnads möjlighet att stå emot påfrestningar till följd av allvarligare bränder, en brand som är större än den som normalt väljs som dimensionerande, eller en brand som är ogynnsamt placerad. En allvarlig händelse kan också uppstå när brandskyddet inte fungerar som det är tänkt, se Figur 2.



Figur 2. Scenarier som sällan beaktas vid analytisk dimensionering.

Vid dimensionering av brandskydd anses det ofta vara tillräckligt att räkna på ett enda dimensionerande fall medan det vid dimensionering av bärande konstruktioner används flera olika typer av dimensionerande fall, s.k. lastfall, och i varje dimensionerande fall tas hänsyn till de osäkerheter som finns. När andra metoder och lösningar används för att utforma brandskyddet kan scenarierna som är inringade i Figur 2 påverkas. Det kan ske utan att konsekvensen då allting fungerar ändras i förhållande till förenklad dimensionering. Om värderingen av risk enbart beaktar detta scenariot finns ingen möjlighet att upptäcka en riskökning till följd av riskbidraget från något av de andra scenarierna ökar. Att försöka värdera om risken är acceptabel eller ej baserat på de scenarier som inte medför någon risk, d.v.s. där riskbidraget förväntas vara noll, är motsägelsefullt. De scenarier som genererar riskbidraget måste beaktas för att få en uppfattning om hur den totala riskbilden ser ut.

När förenklad dimensionering används kommer brandskyddet att ha en viss skyddseffekt i samtliga scenarier, även om inte konsekvensen kommer att vara noll. Det är inte troligt att samhället accepterar att skyddet i dessa scenarier reduceras okontrollerat och att lösningen då fortfarande anses ha tillräcklig säkerhet. På det sätt som analytisk dimensionering tillämpas idag är det en överhängande fara för att brandskyddet vid allvarliga händelser förbises.

1.3 Syfte & Mål

Syftet med projektet är att belysa problematiken vid analys och värdering av risk i samband analytisk dimensionering. Av särskilt intresse är att undersöka förutsättningarna att ta fram en acceptabel risknivå som kan användas som ett kvantitativt dimensioneringskriterium. Arbetet ska ligga till grund för att skapa tydligare vägledningen vid val av metod och tillvägagångssätt vid verifiering. En vidareutveckling av nuvarande dimensioneringsmetodik är nödvändig för att komma till rätta med de kvalitetsbrister som identifierats samt att göra det möjligt att verifiera säkerheten i nya typer av byggnader. Projektet är ett steg i denna riktning, men det bör poängteras att denna vidareutveckling är ett omfattande och långsiktigt arbete.

Målet är att utveckla den metodik som används för att analysera och värdera risk så att en acceptabel risk kan säkerställas. Arbetet delas upp i två delmål. Första delmålet är att studera vilka riskmått som är lämpliga att använda vid verifiering. Vid beslutsfattande om en risk är acceptabel eller inte är det viktigt att alla scenarier som har ett betydande riskbidrag beaktas. Det andra delmålet är att studera hur brandskyddet vid allvarligare bränder skall hanteras vid analytisk dimensionering. Det är oklart hur riskbidraget från sådana bränder bör behandlas, men kan potentiellt utgöra en betydande del av den totala risken.

1.4 Avgränsningar

En byggnads brandskydd består inte bara av tekniska skyddssystem utan är i hög grad beroende av organisatoriska faktorer, t.ex. utbildning, organisation, systematiskt säkerhetsarbete, säkerhetskultur samt ordning och reda. Trots att faktorerna har stor betydelse regleras de inte i BBR (2002). BBR är enbart en tillämpningsföreskrift till byggnadsverkslagen (BVL, 1994) och byggnadsverksförordningen (BVF, 1997) och omfattar tekniska egenskapskrav hos byggnaden. I arbetsmiljölagen (AML, 1977) ställs vissa krav som delvis berör organisatoriska faktorer, men bara i viss omfattning eftersom lagen har fokus på just arbetsmiljön. Analysen i detta arbete inriktas på det byggnadstekniska brandskyddet och därför utreds effekten av det organisatoriska brandskyddet på den totala brandrisken i liten utsträckning.

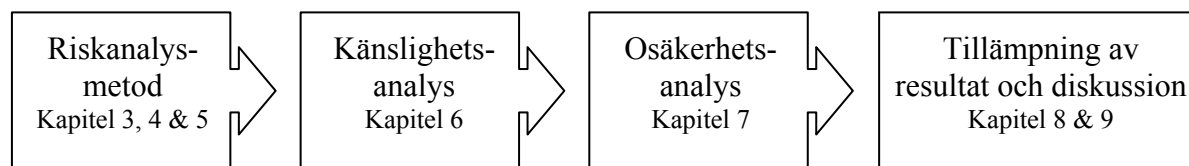
Brandskydd kan karaktäriseras av flera egenskaper som tillsammans beskriver den skyddseffekt som systemet ger (Lundin, 2004). Några egenskaper som ofta används är funktion och tillförlitlighet, men det finns även andra som är av stor vikt t.ex. sårbarhet, graden av mänsklig inblandning och komplexitet. De sistnämnda är mer diffusa än de första och det saknas idag metoder för att utvärdera hur dessa påverkar risken. Därmed inte sagt att de kan bortses ifrån vid verifiering, men de är svåra att ta med i en kvantitativ analys. Det finns grova kvalitativa metoder som bör tillämpas, men en hel del utvecklingsarbete återstår. I den kvantitativa modell av brandrisk som beskrivs i rapporten är det främst egenskaperna funktion och tillförlitlighet som ingår i analysen.

I arbetet studeras uteslutande verifiering med hjälp av beräkningsmetoder. Inga experiment eller provning har utförts eftersom det ligger utanför ramen för projektet.

I byggnadstypen som studeras skall utrymning ske oberoende av eventuellt ingripande från räddningstjänsten. Därför har ingen hänsyn tagits till en eventuell insats vid modellering av brandförloppet.

1.5 Metod och tillvägagångssätt

Efter detta inledande kapitel följer kapitel 2 med dels en allmän bakgrundsbeskrivning av nuvarande tillvägagångssätt vid verifiering och dels en teoribeskrivning av analys och värdering av brandrisk. Dessa ligger till grund för utvecklingen av en modell som används för att beskriva och analysera brandrisk i samband med dimensionering av utrymnings säkerhet. Det fortsatta arbetet presenteras enligt flödesschemat i Figur 3.



Figur 3. Rapportens övergripande struktur.

1.5.1 Riskanalysmetod (kapitel 3, 4 & 5)

Utvecklingen av en riskanalysmetod baseras på litteraturstudier och författarens tidigare erfarenheter inom området analytisk dimensionering. Metoden appliceras på en *typbyggnad* som ska representera en klass (viss typ) av samlingslokaler. Ursprungsbyggnaden har varit en kyrka, men geometri och indata har valts så att måtten representerar en rad olika samlingslokaler.

1.5.2 Känslighetsanalys (kapitel 6)

Med utgångspunkt från typbyggnaden utförs en känslighetsanalys genom att indata varierar systematiskt. Det skapar underlag för att studera vilka variabler som påverkar den beräknade risken mest och hur väl olika typer av riskmått återspeglar förändringen i risknivå.

1.5.3 Osäkerhetsanalys (kapitel 7)

Genom känslighetsanalysen identifieras de mest betydelsefulla indatavariablerna. I osäkerhetsanalysen studeras hur osäkerheterna i dessa indata påverkar riskmåten och vilken variation i risknivå det medför. Osäkerheten i variablerna representeras av statistiska fördelningar. Analysen delas upp i två steg. I ett första steg varierar alla variabler som har en stor inverkan på riskmåten i känslighetsanalysen. Variationen i risknivå studeras genom att osäkerheter i indata fortplantas i riskberäkningarna för två olika typer av bränder. Dessa bränder startar på olika ställen i byggnaden. En av bränderna startar inne i samlingslokalen och en andra brand startar i en intilliggande lokal.

I ett andra steg studeras variationen i risknivå för två olika grupper av variabler. Den ena gruppen utgörs av variabler som är osäkra för en specifik byggnad, t.ex. vilken effektutveckling som uppstår vid brand eller hur många personer som vistas i lokalen. Den andra gruppen utgörs av variabler som bestäms i samband med projekteringen, d.v.s. sådana som inte varierar när en byggnad väl är uppförd. Exempel på variabler är area och höjd. Genom att variera variablerna i den ena gruppen samtidigt som variablerna i den andra gruppen hålls konstanta kan relationen mellan osäkerheterna i grupperna studeras, d.v.s. hur stor del av den totala osäkerheten de representerar. Dessutom kan de variabler som påverkar risken mest för en specifik byggnad respektive hela klassen av byggnader identifieras.

1.5.4 Tillämpning av resultat och diskussion (kapitel 8 & 9)

I de avslutande kapitlen analyseras och diskuteras resultaten från det omfattande beräkningsarbetet och hur de kan användas i samband med dimensionering av utrymnings säkerhet. Diskussionen inriktas på hur risknivå i förenklad dimensionering ser ut och olika sätt att förändra den på vid behov. Slutligen lämnas förslag på hur utveckling av en analytisk verifieringsmetodik bör se ut för att möjliggöra en rättvisande och trovärdig riskvärdering.

2 Allmän bakgrund

Vid analytisk dimensionering kan olika metoder användas för att verifiera att säkerheten är lika bra eller bättre än vid förenklad dimensionering. Ett mål med arbetet är att studera hur en acceptabel risknivå kan tas fram och användas vid verifiering med beräkningsmetoder. I detta kapitel sammanfattas det tillvägagångssättet som ofta används vid verifiering och därefter ges en bakgrundsbeskrivning till kvantitativ analys och värdering av brandrisk.

2.1 Verifiering av brandrisk vid dimensionering

Verifiering av att utrymningssäkerheten är acceptabel måste grunda sig på både en analys av risken och en värdering om denna risknivå är acceptabel eller ej. Den som verifierar måste göra flera val, t.ex. av riskanalysmetod, omfattning av analysen, beräkningsmetod för att modellera konsekvens, indata och acceptanskriterium. Dessa val är avgörande för kvalitén på verifieringen. Idag ger Boverket ingen eller mycket knapphändig information om hur dessa val bör göras. Viss vägledning finns i BBR 5:13, begränsat till analys av risken, men det finns inte någon hänvisning till internationella standarder eller vägledningar och inte heller några allmänna råd eller tekniska rapporter skrivna till stöd. För att analysera och dokumentera tillvägagångssättet som idag tillämpas vid verifiering har en genomgång av ca 40 brandskydds-dokumentationer gjorts (Lundin, 2001).

2.1.1 Verifiering med beräkningsmetoder

De huvudsakliga problemen visade sig vara länkade till följande analysdelar:

- definition av konsekvens,
- antalet scenarier,
- val av brandsimuleringsmodell och
- acceptanskriterier.

Definition av konsekvens

Analysen är vanligen begränsad till att studera konsekvensen vid brand, d.v.s. brand och/eller brandgasspridning och dess skadeverkningar modelleras. Konsekvensen definieras ofta som skillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstiden, alltså som en tidsmarginal. Ibland anges konsekvensen istället som antalet personer som inte hinner utrymma. I andra fall studeras dödliga eller skadliga förhållanden i stället för kritiska förhållanden.

Antalet scenarier

I många analyser studeras bara ett enda fall (scenario), exempelvis konsekvensen då alla skyddssystem fungerar som det är tänkt. Ett få projektörer väljer att studera några fler fall, t.ex. konsekvenserna i de scenarier då ett av skyddssystem inte fungerar eller olika typer av bränder.

Val av brandsimuleringsmodell

Beräkningsmodeller används för att uppskatta konsekvenserna vid brand. Främst modeller för att beräkna exponering (spridning av brandgas), i de lokaler där folk vistas eller utrymmer genom. Modellerna är av olika typ och komplexitet. Tre huvudtyper kan urskiljas: enkla handräkningsmetoder, två-zonsmodeller och mer komplicerade fältmodeller (CFD). Variablerna som beräknas beskriver miljön som personer i byggnaden utsätts för, t.ex. temperatur, siktbarhet, toxicitet, brandgaslagrets höjd och värmepåverkan.

Acceptanskriterier

Det vanligaste acceptanskriteriet är en tolkning av ett av funktionskravet i byggreglerna (BBR 5:36) och innebär att alla personer som vistas i en byggnad ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. För de flesta byggnader går detta att visa. När alla brandskyddssystem fungerar branden är begränsad. Kriteriet blir svårare att tillämpa för de scenarier då inte allt fungerar. Projektören struntar antingen i att analysera dessa scenarier, eller försöker formulera egna acceptanskriterier.

Hantering av osäkerheter

En rad olika typer av osäkerheter måste hanteras i verifieringsberäkningarna, exempelvis osäkerhet i antaganden, beräkningsmodeller och indata. Ett första steg vid analys av osäkerheterna är att med en känslighetsanalys studera hur resultatet påverkas när en eller flera indatavariabler varieras. Tyvärr är det ofta svårt att uttyda vilka slutsatser som dras från en känslighetsanalys och vilken effekt dessa har på analysen. Användningen av känslighetsanalys behöver systematiseras.

2.1.2 Kvalitén vid verifiering

Bristen på vägledning i BBR skapar utrymme för en godtycklig tolkning vid verifiering, både när det gäller innehåll och kvalitet på det som ska redovisas. Idag tillämpas en uppsjö av olika beräkningsmetoder och tillvägagångssätt. En rimlig fråga är om alla dessa är acceptabla eller om vissa borde underkännas? En uppenbar fara är att kvalitén blir för låg om det ligger i projektörens egenintresse att visa att en lösning är säker i stället för att hantera brandriskerna i byggnaden. I samband med genomgången av brandskyddsdokumentationerna, som beskrivits tidigare (Lundin, 2001), framkom att det fanns stora brister i hur verifieringen utfördes. Några viktiga kvalitativa slutsatser från genomgången följer nedan:

- Kvalitén på verifieringen beror inte enbart på tillvägagångssättet eller vilket skyddssystem som utvärderas utan framförallt på hur projektören väljer och tillämpar beräkningsmetoderna i den aktuella situationen. Förutsättningarna för verifiering ändras mycket från projekt till projekt. Ett tillvägagångssätt som kan vara bra i en situation kan vara otillräckligt och ge missvisande resultat i en annan.
- Vid relativa analyser används enstaka scenarier som jämförelsepunkter utan att motivering lämnas till varför det valda scenariot är tillräckligt för att värdera hur den totala säkerheten påverkats.
- Parallella system med inbyggd redundans ersätts av mer sårbara skyddssystem utan att konsekvensen vid fel beaktas.
- Vid analytisk dimensionering är verifieringen ibland onödigt bristfällig till följd av okunskap, felaktig förenkling och bristande förståelse.
- Analysen av hur säkerheten påverkas av ett tekniskt byte är i flera fall så bristfällig att det inte framgår vilken effekt det tekniska bytet har på varken brandskyddet eller säkerheten i byggnaden.

Bristande verifiering innebär att kraven i BBR inte uppfylls och medför att lösningar med ett otillräckligt brandskydd inte uppmärksammas. Detta är allvarligt eftersom byggreglerna tillåter omfattande förändringar av det traditionella brandskyddet, genom alternativ utformning (BBR 5:11). Större och större förändringar av traditionella lösningar sker och gränserna för vilka förändringar som anses vara acceptabla prövas hela tiden i jakten på att sänka byggkostnaderna. Dessutom byggs ibland nya typer av byggnader där förenklad dimensionering inte är optimal eller överhuvudtaget kan tillämpas.

Genomgången av brandskyddsdocumentationerna visar att lite allvarligare händelser inte beaktas vid verifiering, t.ex. om ett skyddssystem inte fungerar eller om en allvarlig brand inträffar. Även om konsekvensen vid sådana händelser inte går att förhindra helt och hållet så kan åtgärder vidtas för att begränsa skadan. Skydd mot allvarliga olyckor måste utgöra en del av det totala brandskyddet i en byggnad. Hur denna typ av skydd ska dimensioneras berörs inte explicit i dagens bygglagstiftning. Om inte riskbidraget från denna typ av olyckor beaktas vid verifiering kan säkerhet mot lite allvarligare olyckor urholkas. Statistik visar på att det under de senaste 30 åren har inträffat händelser med stora konsekvenser. I Tabell 1 redovisas ett antal av de större dödsbränderna i nattklubbar och diskotek under de 30 senaste åren.

Tabell 1. Större dödsbränder de senaste 30 åren (NFPA, 2004a; SHK, 2001).

År	Plats	Antal omkomna
2003	E2 Night Club, Chicago, USA	21
2003	The Station nightclub, West Warwick, USA	100
2002	Saigon International Trade Center, Ho Chi Minh City, Vietnam	61
2002	La Goajira nightclub, Caracas, Venezuela	47
2000	Diskotek, Luoyang, China	309
1998	Makedoniska föreningen, Göteborg, Sverige	63
1996	Rhein- Ruhr flygplats Dusseldorf, Tyskland	16
1996	Ozone Disco Club, Quezon City, Philippines	160
1995	Weierkang Club, Taichung, Taiwan	64
1995	Karaoke club, Urumqi, Xinjiang province, China	51
1994	Zwitel Hotel, Antwerpen, Belgien	15
1990	Happy Land Social Club, New York, USA	87
1990	Diskotek Flying, Zaragoza, Spanien	43
1983	Diskotek Alcalá, Madrid, Spanien	81
1981	Diskotek Stardust Club, Dublin, Irland	48
1978	Diskotek Stadt, Borås, Sverige	20
1977	Beverly Hills Supper Club, Kentucky, USA	165
1976	Club Puerto Rico social club, New York, USA	25

För flera av de större dödsbränderna gäller att:

- Branden har startat i ett angränsande och obemannat utrymme.
- Branden har vuxit sig stor i detta utrymme som saknar eller inte haft fungerande detektions- eller släcksystem.
- När initialbranden brutit genom en brandteknisk eller annan avskiljning eller när en dörr har öppnats har brand och brandgasspridning till den stora lokalen med många människor gått mycket snabbt. Brandspridningen har i flera fall underlättats av brännbara ytskikt.
- Utrymningsvägarna har varit otillräckliga, låsta eller blockerade eller har blockerats av brandgas i ett tidigt skede.

Alltför långtgående slutsatser får inte dras av dessa händelser. Alla de bakomliggande orsakerna är inte kända och statusen på brandskyddet innan branden inträffade är inte heller analyserad. I många andra fall har brandskyddet fungerat som det är tänkt i denna typ av lokaler, men faktumet kvarstår att gemensamt för katastroferna i Tabell 1 är att de representerar scenarier då inte allting fungerat som det var tänkt. Händelseförloppet har då lett

till allvarligare situationer än vad som normalt studeras vid verifiering. Om inte denna typ av scenarier beaktas vid verifiering finns en fara för att skyddet mot allvarliga bränder blir sämre när analytisk dimensionering tillämpas jämfört med förenklad dimensionering.

Om bristande verifieringsmetodik potentiellt kan få allvarliga konsekvenser bör kvalitén på tillvägagångssättet vid dimensionering av brandskydd ifrågasättas. Behovet av en tydligare metodik vid verifiering är uppenbar. Vad som är tillräcklig verifiering och hur kraven på verifieringen ska formuleras så att otillräckliga lösningar kan identifieras måste utredas. Om dessa inte uppmärksammas i projekteringskedet kommer det antingen att innebära kostsamma ändringar om bristerna upptäcks i driftsskedet eller att brandrisken i det svenska byggnadsbeståndet långsiktigt kan komma att öka.

2.2 Analys och värdering av brandrisk

I detta avsnitt presenteras grundläggande begrepp för att analysera och värdera brandrisk kvantitativt.

2.2.1 Risk och riskanalys

Den totala brandrisken definieras som riskbidraget av alla brandscenarier som kan uppkomma genom en kombination av olika händelser. För varje scenario kan en konsekvens och en sannolikhet beräknas. Riskbidraget uttrycks som en funktion av dessa, se ekvation (1). Definitionen av risk härstammar från Kaplan & Garrick (1981) och har tidigare använts för att definiera brandrisk i flera olika sammanhang (Magnusson et al., 1995; Frantzich, 1998).

$$R = \sum \{s_i, p_i, c_i\} \quad (1)$$

$s_i =$	beteckning för händelsesekvens i som utgör scenario i
$p_i =$	sannolikheten för scenario i
$c_i =$	konsekvensen för scenario i
$i =$	index för scenariot
$R =$	den totala risken

Antalet brandscenarier som kan uppkomma i en byggnad är stort. I samband med dimensionering måste förenklingar göras genom att låta karaktäristiska scenarier representera en grupp av flera olika möjliga scenarier. Ofta kallas de för dimensionerande scenarier. Sannolikheten för ett dimensionerande scenario blir summan av sannolikheterna för de scenarier som ingår i gruppen. Den totala risken beräknas genom att summera riskbidraget från de dimensionerande scenarierna, se ekvation (2).

$$R \approx \sum_{i=1}^n \{s_i, p_i, c_i\} \quad (2)$$

$n =$ antalet dimensionerande scenarier

För att göra en konservativ riskuppskattning, en riskuppskattning som är på säkra sidan, är det nödvändigt att låta det dimensionerande scenariot i varje grupp representeras av gruppens värsta scenario. Konservativ i det här sammanhanget innebär att den beräknade risken är högre än den faktiska, men det styrs helt av vad den beräknade risken ska användas till, se Bilaga A. Hur konservativ uppskattningen av den faktiska risken blir beror på hur detaljerad analys som utförs. Om få scenarier används blir resultatet mer konservativt, risken över-

predikteras. Genom att förfina indelningen i fler dimensionerande scenarier blir modellen mer komplicerad, men samtidigt kommer överprediktionen av den faktiska risken att minska.

Att olika scenarier är möjliga när brand uppstår innebär att händelsen ”brand uppstår” är förknippad med osäkerhet. När en riskanalys utförs identifieras olika händelser som har stor påverkan på olycksförloppet, t.ex. om tekniska system fungerar eller ej eller om dörrar är blockerade eller ej i brandfallet.

Variabler som används för att modellera konsekvenserna, t.ex. personantal, gånghastighet, reaktionstid eller brandens storlek, kan också vara osäkra. Denna typ av osäkerhet beskrivs ofta som en slumpmässig variation och kan uttryckas med stokastiska variabler i beräkningsuttrycken. En variabels variation representeras då med en statistisk fördelning, d.v.s. en fördelningsfunktion för kontinuerliga variabler och en täthetsfunktion för diskreta variabler.

I denna rapport representeras osäkerheterna i riskberäkningarna både genom ett händelsetråd och genom osäkra variabler i konsekvensberäkningarna. Riskanalysmetoden har tidigare använts i stor utsträckning och är välkänd (Frantzych, 1998; Boverket, 1997). Metoden lämpar sig för att strukturera och beskriva scenarier där sekvensen på händelserna är kända. Händelsetrådmetodik har begränsningar i att kunna beskriva scenarier som uppstår genom dynamiska och oförutsägbara förlopp.

2.2.2 Riskmått

För att beskriva risken med utgångspunkt från riskberäkningarna kan olika typer av riskmått användas. Ett riskmått är en storhet som används för att mäta och beskriva risknivån. Val av riskmått påverkar hur data i ekvation (2) kommer att hanteras. Vid verifiering används ett riskmått för att avgöra om en lösning är acceptabel eller inte genom att jämföra den analyserade risken med någon form av acceptanskriterium (acceptabel risknivå). Riskmättet måste både vara praktiskt att använda samtidigt som det på ett korrekt sätt ska beskriva risken. En förutsättning för att uppfylla kraven i BBR är att analysmetoden och riskmättet medför:

- kontroll över hur den totala risken har påverkats vid förändring av förenklad dimensionering och
- att det i en riskvärdering redovisas att risken inte är högre än om alla relevanta krav och råd i föreskriften följs.

Vad som är ett lämpligt eller tillräckligt riskmått beror på syftet med analysen och de förutsättningar som är kopplade till det specifika fallet. En fördel med att modellera risken med ett händelsetråd är att det ger en god överblick och struktur över de scenarier som tillsammans utgör den totala risken. En åtskillnad brukar göras mellan konsekvensbaserade (deterministiska) riskmått och riskbaserade (probabilistiska) riskmått (SRV, 1997). Ett konsekvensbaserat mått är lämpligt att använda när ett fåtal väldefinierade scenarier ska ingå i riskvärderingen. I andra fall lämpar sig probabilistiska riskmått där riskbidraget från fler scenarier beaktas.

I många situationer där riskanalys utförs, t.ex. vid riskanalys av kemikalieutsläpp från industrier, används två principiellt olika typer av probabilistiska riskmått. Det är individrisk och samhällsrisk. Individrisk kan definieras på många olika sätt (CPQRA, 1989). Ett vanligt sätt att uttrycka individrisk på är som sannolikheten att omkomma för en person som vistas på ett och samma ställe 24 timmar om dygnet, s.k. platsspecifik risk. Individrisken kan användas för att studera hur risknivån varierar geografiskt runt en anläggning, som en funktion av avståndet

från riskkällan. Riskmättet kan också vara användbart för att studera så att ingen enskild individ exponeras för en orimligt hög risknivå. Samhällsrisk är ett riskmått som innefattar hur många personer som omkommer vid en olycka och är i regel en funktion av både hur stor sannolikheten är för att en olycka ska uppkomma och hur många som omkommer. Vid värdering av risk finns ofta ett behov av att använda en kombination av individ och samhällsrisk.

Förutsättningarna för att använda individrisk och samhällsrisk för att beskriva brandrisk i byggnader skiljer sig jämfört med risker som kemikalieutsläpp, vilket medför riskmåten kan behöva definieras om. Att använda plats specifika mått, d.v.s. att förutsätta att personerna stannar kvar i lokalen givet olyckan är inte meningsfullt vid dimensionering av utrymnings säkerhet. Vid bränder är utrymningsförloppet en av de mest betydande delarna av säkerhetsstrategin och måste beaktas vid riskberäkningarna, till skillnad från analyser i samband med kemikalieutsläpp. Dessutom introduceras nya osäkerheter i beräkningarna genom att mänskligt beteende påverkar utrymningsförloppet.

Vid riskvärdering i samband med dimensionering av utrymnings säkerhet lämpar det sig inte att mäta konsekvensen i antalet döda. Kraven på säkerhet givet att brand startar är i BBR 5:36 högre än att inga personer ska omkomma. Eftersom det är möjligt att flera personer kan utsättas för kritiska förhållanden utan att omkomma måste konsekvensen mätas på ett annat sätt. Antal döda är därför ett för grovt mått. Ett finare sätt än att mäta konsekvens behövs för att avgöra om brandskyddet är tillräckligt. Därför definitionen av *individrisk* som sannolikheten att en person exponeras för kritiska förhållanden under en viss tid i en byggnad alternativt givet att brand uppstår. Samhällsriskmättet *medelrisk* kan på samma sätt definieras som antalet personer som förväntas utsättas för kritiska förhållanden per år eller brand.

2.2.3 Osäkerhetsanalys

Behovet av osäkerhetsanalys i beräkningar kan variera från att inte alls behövas, t.ex. om dimensionerande värden, modeller och acceptanskriterium finns, till att vara mycket omfattande där effekten på beräkningsresultatet av osäkerheter i indata studeras. I Brandskydds handboken (2002) anges tre olika nivåer av osäkerhetsanalys för dimensioneringsberäkningar:

1. Ingen hänsyn till osäkerheter.
2. Grov uppskattning av osäkerheter.
3. Detaljerad analys av osäkerheter.

För att tillämpa nivå 1 vid brandteknisk dimensionering krävs att designekvationer och dimensionerande värden finns framtagna. Då har osäkerheterna hanterats i samband med att de dimensionerande värdena togs fram och behöver inte beaktas. Endast för ett fåtal tillämpningar är detta möjligt. Ett exempel är dimensionering av bärande konstruktioner vid brandpåverkan. För andra tillämpningar är det nödvändigt att använda nivå 2 eller 3. En nackdel med nivå 2 är att det inte framgår hur konservativt slutresultatet blir. Osäkerheten i slutresultatet hanteras genom att en rad konservativa antaganden görs i hela beräkningskedjan, d.v.s. vid val av indata, val av beräkningsmodeller samt vid tolkning av resultaten. Projektören har svårt att i efterhand justera något enskilt värde och överblicka vad det har för konsekvens för säkerheten. En fördel med nivå 2 framför nivå 3 är att tillvägagångssättet är mindre komplicerat och går snabbare att utföra.

En detaljerad analys av osäkerheter innebär att osäkerheterna i regel kvantifieras och att effekterna av olika typer av osäkerheter på beräkningsresultaten analyseras. En rad olika tillvägagångssätt finns tillgängliga för att hantera osäkerheter på nivå 3 (Magnusson et. al, 1995; Paté-Cornell, 1996). Vilket tillvägagångssätt som är lämplig beror på om beräkningarna om-

fattar ett eller flera scenarier, vilken typ av modell som används för att beräkna konsekvensen och hur osäkerheter i konsekvensberäkningarna ska hanteras.

En del osäkerheter, t.ex. tillförlitligheten i tekniska system, redovisas tydligt när händelse-trädsmetodik används. Däremot behöver osäkerheter i variablerna som används för att modellera brand- och utrymningsförlopp analyseras närmare för att se vilken inverkan de har på det slutliga resultatet. Denna osäkerhet kan beskrivas med sannolikhetsfördelningar som anger vilka olika värden variabeln kan anta samt hur sannolikt respektive värde är. Osäkerheten i variablerna kan sedan fortplantas genom riskberäkningarna så att osäkerheten i slutresultatet kan bestämmas. För enkla analytiska uttryck kan fortplantningen ske med handräkningsmetoder. För mer komplicerade beräkningar underlättar det att använda datorprogram.

När delar av riskberäkningarna utförs med deterministiska datormodeller uppstår en svårighet. I deterministiska modeller anges indata som deterministiska (enstaka) värden vilket leder till att även utdatavariablerna blir deterministiska, t.ex. höjden på brandgaslagret som funktion av tiden. För att undersöka effekten på utdata för olika värden på en indatavariabel vid osäkerhetsanalys måste nya beräkningar utföras för varje nytt värde på indatavariabeln. I en osäkerhetsanalys studeras i regel flera indatavariabler samtidigt. Då växer snabbt antalet beräkningar som är nödvändiga för att undersöka effekten på utdata vid alla tänkbara variabelkombinationer av indata. Ofta krävs flera tusen beräkningar. För många datormodeller måste indata ändras manuellt mellan varje simulering och beräkningstiderna kan vara långa. Arbetsbördan och tiden för osäkerhetsanalysen blir orimlig. I sådana fall finns möjlighet att skapa en analytisk modell av datormodellen. En sådan modell kallas ibland för resposnyta och är en approximation av datorprogrammet inom ett begränsat område som definieras av variationsintervall för en eller flera indatavariabler. Enbart för detta område är approximationen giltig. Den förenklade modellen tas fram genom att utdata från datorprogrammet beräknas när de utvalda indatavariablerna varierar systematiskt. Med hjälp av denna information skapas en approximativ modell genom regressionsanalys. Tillvägagångssättet finns beskrivet i en rad publikationer (Frantzich, 1998; Boverket, 1997; Magnusson et al., 1995). Extrapolering utöver resposnytas giltighetsområde är inte tillåtet.

2.2.4 Acceptabel risknivå

Idag finns inte någon uttrycklig risknivå angiven i BBR som kan användas att värdera risk emot. Däremot ställs krav på att riskanalys ska användas vid behov i BBR 5:13 och för att leva upp till kravet i BBR 5:11 är en riskvärdering nödvändig. Flera olika tillvägagångssätt finns för att ta fram en acceptabel nivå, som alla har sina för och nackdelar. Nedan presenteras några olika sätt att bestämma en acceptabel risknivå:

- politiska beslut,
- tillbudsrapportering,
- andra områden eller tillämpningar och
- befintlig nivå.

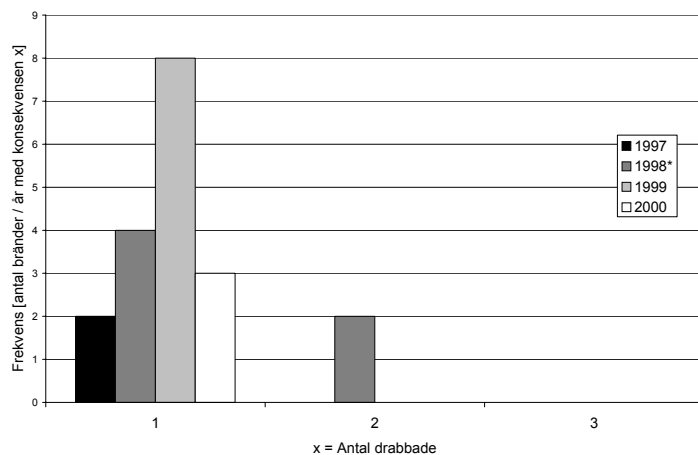
Oavsett vilket sätt som väljs är det viktigt att beakta de allmänna principer för riskvärdering som finns. Dessa kan sammanfattas med rimlighetsprincipen, proportionalitetsprincipen, fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer som finns beskrivna i "Värdering av risk" (SRV, 1997).

Politiska beslut

För en del risker har risknivån bestämts genom politiska beslut. Antingen är nivån en konsekvens av en fastlagd handlingsstrategi (och kan då variera mycket) eller så har en specifik nivå bestämts. Det finns lite olika exempel på hur sådana nivåer bestämts, t.ex. summan av individrisken att omkomma till följd av naturkatastrofer, sannolikheten för att omkomma till följd av blixtnedslag eller 1/100 av sannolikheten att omkomma till följd av olycka för den åldersgrupp som har lägst mortalitet i samhället. Sista exemplet är hur den Holländska individrisknivån 10^{-6} vid nyetablering av kemisk industri bestämdes (Uijt de Haag, 1999). Om den beslutade risknivån verkligen avspeglar samhällets värderingar är svårt att veta, både vad gäller själva storleken på risken och vem som drabbas. Genom att bestämma en viss risknivå så avgörs indirekt hur mycket resurser som behöver satsas på att rädda ett statistiskt liv (Mattsson, 2000).

Tillbudsrapportering

Om det finns ett omfattande empiriskt underlag kan risknivåer och/eller acceptanskriterier tas fram med hjälp av statistisk analys av t.ex. tillbudsstatistik. För många tekniska system saknas långa stabila datakedjor och riskuppskattningarna måste baseras på logiska modeller alternativt expertbedömningar. När det gäller brandskadestatistik så finns både nationell och internationell data. I Figur 4 redovisas statistik som tagits fram i samband med analys av Räddningsverkets insatsstatistik. Figuren visar med vilken frekvens olika konsekvenser förekommer vid olyckorna mellan 1997 och 2000. Exempelvis inträffade 8 st bränder där 1 person omkom 1999 medan det under den undersökta tidsperioden enbart fanns två olyckor där 2 personer omkom, vilket skedde 1998 (observera att branden i Makedoniska föreningen ej är medtagen i diagrammet). Antalet bränder i allmänna byggnader under denna tidsperiod är knappt 2000 bränder per år och variationen mellan åren är liten.



* = branden i Makedoniska föreningen ej medräknad.

Figur 4. Konsekvensens storlek vid dödsolyckor i allmänna byggnader.

Den svenska statistiken är inte tillräckligt omfattande för att använda som underlag till dimensionerande kriterier för skydd mot allvarliga olyckor. Orsakssambanden är tyvärr ofta dåligt utredda, d.v.s. det är oklart hur stor andel av dödsfallen som beror på brister i det byggnadstekniska brandskyddet eller om det var andra omständigheter som t.ex. missbruk eller självmord. I den statistik som idag samlas in vid bränder saknas uppgifter om faktiska omständigheter som t.ex. yta, vilka är nödvändiga för att kunna skapa indata för att modellera risken på ett sätt som är användbart vid dimensionering.

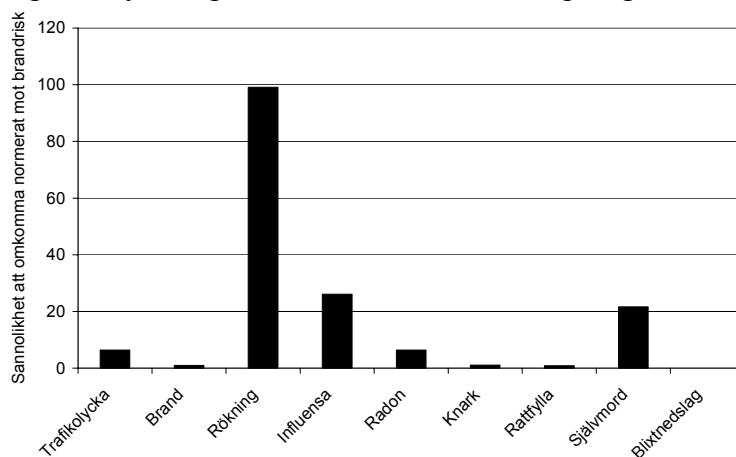
Ytterligare ett problem med att använda historiska data vid dimensionering är att data blir föråldrad. Exempelvis används ibland sprinklertillförlitlighet från tidigt 1900-tal som indata vilket förmodligen inte är rättvisande för dagens moderna anläggningar.

Andra områden eller tillämpningar

Att använda risknivåer från andra områden kan vara olämpligt eftersom den risknivå människor anser vara acceptabel varierar mellan olika aktiviteter och verksamheter. Det finns många studier som stödjer detta, t.ex. "Are all lifes of equal value?" (Ramsberg, 1999). Flera faktorer påverkar hur vi värderar risk. De mest betydelsefulla är om risken:

- är frivillig eller ofrivillig,
- är kontrollerbar eller ej kontrollerbar,
- är känd eller okänd,
- påverkar framtida generationer,
- är akut eller kronisk,
- är naturlig eller teknisk eller
- anses som rättvis eller orättvis.

Dessutom är skadans storlek i förhållande till nyttan som aktiviteten medför av stor betydelse. Därför är det olämpligt att utan noggranna studier välja acceptabla risknivåer till dimensionering av utrymnings säkerhet från andra tillämpningar.



Figur 5. Jämförelse av olika risker normerat mot brandrisk i byggnader ($1.1 \cdot 10^{-5}$ per år).

I Figur 5 redovisas exempel på den stora variationen i nivå mellan olika risker, där sannolikheten att omkomma till följd av olika risker jämförs med sannolikheten per år att omkomma till följd av brand i byggnad i Sverige ($1.1 \cdot 10^{-5}$ per år).

Befintlig nivå

Idag finns det inte några uttalade ambitioner från Boverket att höja brandsäkerheten i byggnader genom att kräva mer byggnadstekniskt brandskydd. Väljs en risknivå baserad på vad som accepteras inom andra områden vid analytisk dimensionering kan risknivån mycket väl bli högre eller lägre än vad den är idag. Om risknivå från ett annat område avspeglar samhällets värderingar när det gäller behovet av brandskydd är mycket tveksamt och inte särskilt troligt. Det skulle dessutom innebära att säkerhetsnivån blir olika beroende på om analytisk eller förenklad dimensionering väljs som dimensioneringsmetod för att uppfylla samma krav. Då blir byggreglerna inkonsekventa. Visserligen kan förenklad dimensionering anpassas mot den nya

säkerhetsnivån, men det kräver ett omfattande utvecklingsarbete och ett stort engagemang från berörda myndigheter.

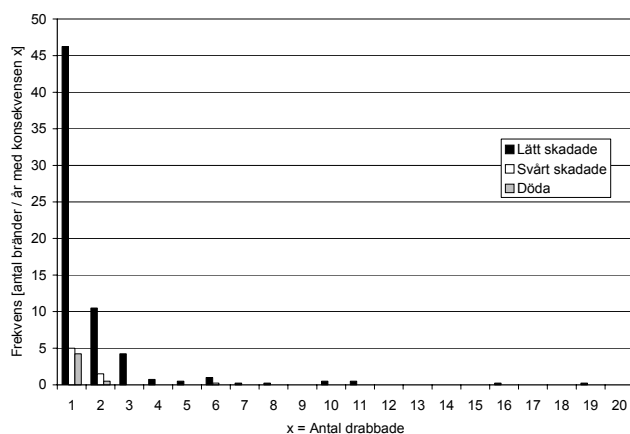
Egentligen finns inget behov av att bestämma en absolut risknivå för byggnadstekniskt brandskydd, utan det som måste prioriteras är att ta fram en metod för att avgöra vad som är tillfredsställande brandskydd och inte. Målsättningen med en sådan metod är att åstadkomma motsvarande säkerhetsnivå som idag med analytisk dimensionering. Osäkerheten i indata och okunskap om hur denna osäkerhet varierar med byggnadstyp, verksamhet och andra faktorer innebär svårigheter att kvantifiera och tillämpa en absolut risknivå. Däremot finns tillräcklig kunskap för att göra relativa jämförelser baserat på kvantitativ analys och rangordna olika alternativ. Slutsatsen blir att en relativ riskvärdering i nuläget är mest lämplig vid verifiering, där risknivån jämförs med förenklad dimensionering. I följande kapitel presenteras den metod för riskanalys som används i den här rapporten för att undersöka hur risknivån ser ut i förenklad dimensionering och vilka riskmått som är lämpliga att uttrycka den med. Risknivån används sedan till att skapa underlag till verifiering vid analytisk verifiering.

3 Brandrisk och dimensionering av utrymnings säkerhet

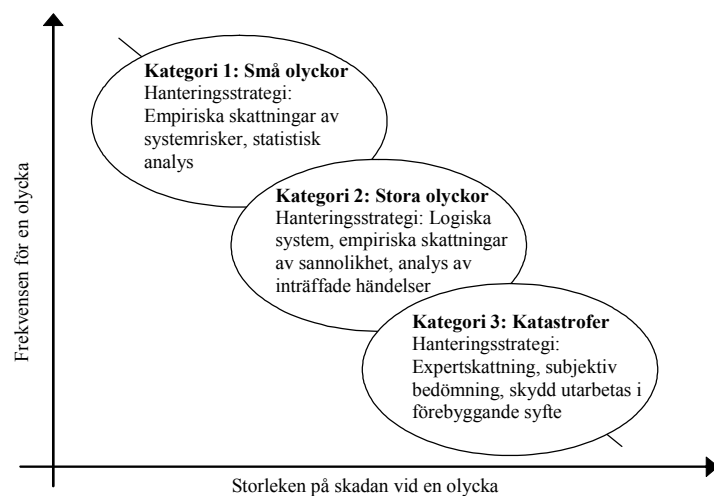
I detta kapitel presenteras olika typer av olyckor som en byggnads totala brandskydd förväntas svara mot. Dessutom diskuteras strategier för att hantera de olika olyckstyperna. Vid dimensionering av brandskydd är det nödvändigt att beakta alla typerna, men inte nödvändigtvis med samma metod.

3.1 Det breda spektrat av olyckor

I ett välordnat samhälle verkar det finnas ett omvänt förhållande mellan frekvensen för en olycka och storleken på konsekvensen (Johnson, 1973). Detta samband verkar även stämma överens med hur brandrisken i Sverige ser ut, baserat på en analys av Räddningsverkets brandskadestatistik som utgår från insatsrapportering från svensk räddningstjänst, se Figur 6. I figuren framgår att antalet olyckor per år med fler än ett dödsfall är lågt för byggnadstypen allmänna byggnader. Vid väldigt få tillfällen under ett år sker olyckor där fler än 3 personer utsätts för lättare skador.



Figur 6. Frekvens för olika skador vid brand i allmänna byggnader. Medelvärde för 1997 – 2000 exklusive branden i Makedoniska föreningen.



Figur 7. Olika kategorier av olyckor.

Rasmussen (1997) menar att olika hanteringsstrategier traditionellt sett har utvecklats för olika typer av olyckor inom flera områden och ger förslag på en indelning av olyckor i tre olika kategorier som karaktäriseras av olyckornas frekvens och konsekvens. Frekvensen på olyckorna påverkar i hög utsträckning hur mycket information och kunskap som finns tillgänglig och som kan användas för att hantera dem. Grimvall et al. (1998) presenterar en modell där tillvägagångssättet för att analysera risk styrs av tillgången på information. En kombination av dessa båda modeller används för att beskriva olika typer av bränder som kan inträffa i en byggnad och vilka hanteringsstrategier som är lämpliga i samband med dimensionering, se Figur 7. Vid dimensionering av byggnadstekniskt brandskydd måste alla olyckstyperna hanteras för att den totala brandrisken ska kunna kontrolleras. Modellen bygger på en grov indelning av olyckor i 3 olika kategorier. Med olycka menas en händelse som leder till en oönskad konsekvens och innefattar därmed både den initierande händelsen samt de förhållanden som påverkar utfallet.

Kategori 1: Små olyckor

Denna kategori representeras av vanligt förekommande olyckor där det empiriska underlaget är stort. Konsekvensen är mindre än för de andra två kategorierna, d.v.s. stora olyckor och katastrofer. Exempel på denna typ av olycka i brandsammanhang är mindre bränder som inte leder till flera skadade eller omkomna. De bakomliggande orsakerna är kända och möjligheter att göra analyser och skattningar är goda och kan ofta baseras på tillförlitliga data. Denna typ av olyckor har det kontinuerligt tagits hänsyn till under utvecklingen av förenklad dimensionering och denna typ av brand är även naturlig att studera vid analytisk dimensionering.

Kategori 2: Stora olyckor

Emellanåt inträffar allvarliga händelser, som innebär större konsekvenser. Orsakssambanden är i regel svårare att få klarhet i men går att modellera. Eftersom det empiriska underlaget ofta är bristande krävs att logiska modeller används för att skatta sannolikheten för att händelserna ska inträffa. Denna typ av olyckor har också påverkat utvecklingen av förenklad dimensionering, fast på ett reaktivt och ibland felaktigt sätt. Först efter att lite allvarligare olyckor inträffat har det haft återverkningar på dimensioneringsmetoden. Vid analytisk dimensionering är det sällsynt att denna typ av olycka ingår i verifieringen.

Kategori 3: Katastrofer

Riktigt stora olyckor inträffar mycket sällan i samband med bränder, men det finns enstaka händelser som passar in på denna beskrivning, t.ex. de bränder som listats i Tabell 1. Vid denna typ av händelser går det sällan att urskilja ett eller några få olyckssamband utan det är snarare en lång rad av olika fel och brister som leder fram till dessa situationer. Rasmussen (1997) menar att händelserna inte kan predikteras med hjälp av de förenklade modeller som vanligtvis används när risk ska modelleras. Orsakssambanden är alltför komplicerade. Andra metoder och verktyg måste användas för att hantera dessa. Även inför denna olyckstyp agerar samhället ofta reaktivt och gör förändringar i lagstiftning baserat på inträffade olyckor.

3.2 Hantering av olyckskategorierna vid dimensionering

Problemställningen som presenterades i avsnitt 1.2 innebär att projektören enbart verifierar hur säkerheten påverkas med utgångspunkt från olyckor i kategori 1. Följden blir att enbart en begränsad del av den totala risken studeras.

I den dimensioneringsmetod som används för att uppfylla kraven i byggreglerna behöver alla olyckstyperna hanteras och skydd utformas för att reducera och eliminera riskerna. I förenklad dimensionering sker det indirekt eftersom lösningen kommer att ha en viss skyddseffekt vid alla olyckstyperna. Den resulterande risken kan då tolkas som tolerabel och ur ett dimensioneringsperspektiv som acceptabel. I analytisk dimensionering är förutsättningarna annorlunda. Hur de olika olyckstyperna beaktas beror på vilken typ av brandscenarier som ingår i analysen vid verifiering. Förbises händelser som leder till olyckor av kategori 2 kommer det att vara ovisst hur byggnaden svarar mot en sådan händelse. Metoderna för att analysera och hantera olyckorna i de olika kategorierna skiljer sig åt och det kan innebära att det är nödvändigt att hantera dessa typer av olyckor på olika sätt vid dimensionering. Det är inte säkert att dimensionering av skyddet mot olyckor av kategori 1 automatiskt ger en skyddseffekt för olyckor av kategori 2.

I det fortsatta arbetet är avsikten att hantera olyckor av kategori 1 & 2 med hjälp av riskanalysmetodik. Händelser av kategori 3, katastrofer, bör hanteras med andra metoder, som diskuteras i avsnitt 3.4.

3.3 Övergripande modell för analys och värdering av brandrisk

En väl underbyggd dimensioneringsmetodik bygger på att följande steg har genomgått (Fitzgerald, 1985):

1. Identifiering av väsentliga systemkomponenter och en utgångspunkt för evaluering.
2. Identifiering av systemets anatomi.
3. Kvantifiering av systemets komponenter.
4. Utveckling av en dimensioneringsmetod.

Kunskapsnivån är idag inte tillräcklig för att skapa en heltäckande analytisk dimensioneringsmetodik enligt punkt 4 för dimensionering av utrymnings säkerhet. Ytterligare arbete med steg 2 och 3 krävs. I brist på dimensioneringsuttryck krävs verifiering av att utformningen av brandskyddet är tillräckligt bra. Även denna procedur kräver lämpliga metoder. I problemställningen framgår att det råder brist på etablerade verifieringsmetoder, vilket medför att metoder från andra områden, t.ex. bärande konstruktioner, tillämpas okritiskt.

3.3.1 Analys vid verifiering

Personsäkerheten i en byggnad beror av hur snabbt ett brandförlopp sker i förhållande till tiden det tar att utrymma. Om alla människor hinner utrymma kommer ingen att skadas och konsekvensen blir därmed noll. Vid verifiering analyseras hur olika förändringar av byggnaden och/eller byggnadens skyddssystem påverkar brand- respektive utrymningsförloppet. För mindre ändringar kan det vara tillräckligt att studera en begränsad del av dessa förlopp, t.ex. detektionstiden, för att förvissa sig om att konsekvensen inte blivit större och därmed inte heller risken.

I andra fall kan storleken på skadan vara av intresse. Olika konsekvensmått kan användas beroende på hur konsekvensen definieras i det aktuella fallet. Exempel är antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden, omfattning av materiell skada eller bärförmåga.

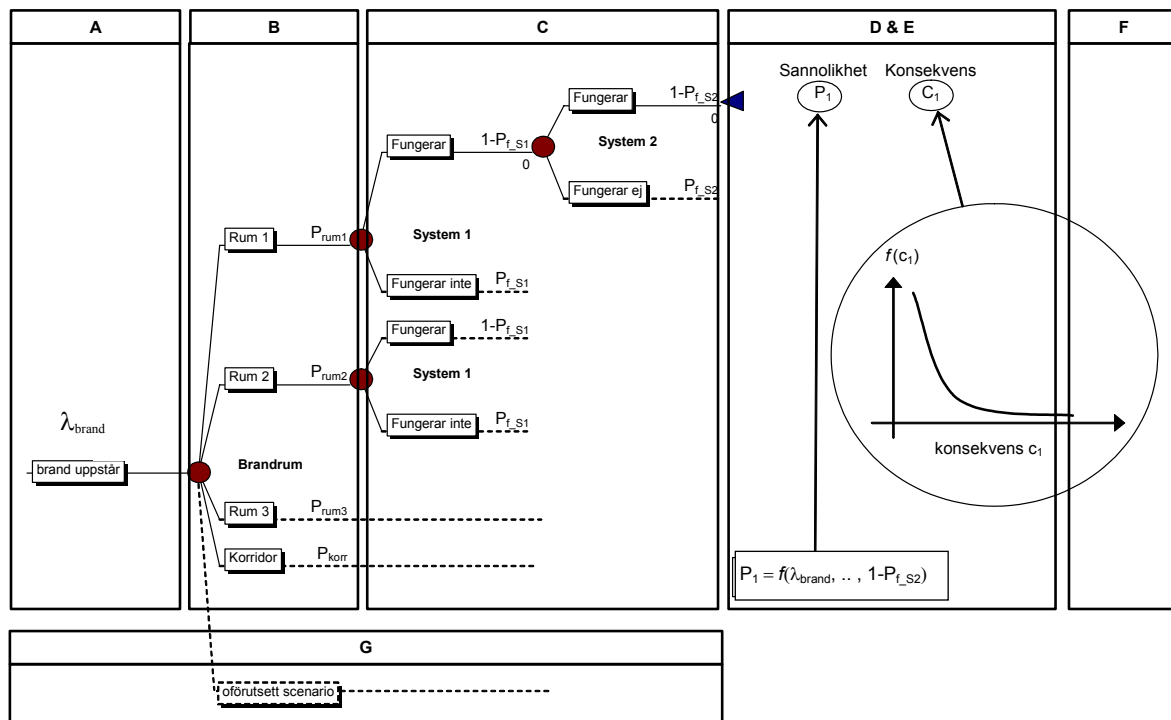
Vid större förändringar av brandskyddet krävs en mer omfattande analys än att enbart titta på konsekvenser. Om sannolikheterna för olika händelseförlopp skiljer eller om de möjliga händelseförlopp som kan inträffa är olika för två lösningar som skall jämföras måste en riskanalys utföras för att kunna värdera hur säkerheten skiljer.

3.3.2 Generell metodik

Eftersom behovet av analys i samband med verifiering varierar är det inte meningsfullt att försöka ta fram en generell riskanalysmetod som kan tillämpas oavsett vilket tekniskt byte som utförs och hur den specifika byggnaden ser ut. Det finns behov av att på ett strukturerat sätt kunna kartlägga hur omfattande en riskanalys vid verifiering behöver vara. Ett förslag till en modell för detta ändamål presenteras i Figur 8.

Modellen baseras på ett händelsetråd där funktionen hos olika tekniska system utgör delhändelser. Osäkerheterna med avseende på systemens funktion anges som betingade sannolikheter givet att ett behov finns, d.v.s. att brand har uppstått. Starthändelsen anges som en frekvens för att brand ska uppstå, λ_{brand} , men kan också vara en betingad händelse, d.v.s. givet att brand har uppstått. Beroende på hur starthändelsen definieras beräknas brandrisken antingen för en viss tidsperiod eller givet att brand uppstått. I Figur 8 innebär streckade linjer att den fortsatta grenen på händelsetrådet inte har ritats ut, eftersom det principiella utseendet är samma som de som ritats ut. Endast ett scenario (nummer 1) finns helt utritad med beteck-

ning för sannolikhet (P_1) och konsekvens (C_1). Siffran 1 är ett indexnummer och används för att beteckna de olika scenarierna.



Figur 8. Illustration av hur brandrisk kan modelleras i samband med verifiering.

Att identifiera vilka osäkerheter som berörs i samband med att brandskyddet utformas på ett annat sätt än vid förenklad dimensionering är nyckeln för att bestämma behovet av verifiering. Beroende på vilka osäkerheter som påverkas avgörs vilket tillvägagångssätt som är lämpligt för att värdera risken. Med denna vetskap går det att ställa krav på hantering av osäkerheter och val av riskmått så att alla relevanta scenarier analyseras och värderas. För att tydliggöra de osäkerheter som är aktuella görs en indelning i olika typer, se Figur 8, vilka förklaras nedan:

A. *Brandfrekvens*

Hur ofta som det brinner i en byggnad.

B. *Brandens placering i byggnaden*

Antalet tänkbara bränder är många med avseende på startbrandcell och var i brandcellen det börjar brinna. Branden kommer att utvecklas olika beroende på en rad faktorer, som t.ex. bränsle och geometri, vilket innebär att brandens placering i byggnaden kan ha stor betydelse. Både brand- och utrymningsförloppet kan skilja sig avsevärt beroende på om branden inträffar i den lokal där människorna vistas eller om den startar i ett intilliggande utrymme.

C. *Tillförlitligheten hos tekniska system*

En rad olika potentiella händelser påverkar förutsättningarna för brand- och utrymningsförloppet. Dessa kan vara av både teknisk och organisatorisk karaktär. Exempel är om tekniska skyddssystem fungerar eller ej (tillförlitlighet), om dörrar och fönster är öppna eller stängda, eller om utbildad personal finns på plats.

D. Osäkerhet i modellering av konsekvens och sannolikhet

När osäkerheter av typ A, B och C strukturerats med ett händelsetråd finns alla brandscenarier utritade, utom de som inte kan förutses (typ G). Sannolikheten för varje scenario beräknas i händelsetrådet och en konsekvens som beror av brand- och utrymningsförloppet modelleras. Vid dessa beräkningar måste olika osäkerheter och begränsningar beaktas. Osäkerheter i beräkningsmodellen måste beaktas, men även sådana osäkerheter som är kopplade till antagande och förenklingar som sker vid beräkningarna. En svår avvägning vid modellval är att modellen skall vara tillräckligt detaljerad för att uppnå syftet med analysen, samtidigt som det finns ett behov av förenklingar för att få rimliga beräkningstider. Vid modellering av brandgasspridning står valet ofta mellan att använda handräkningsmetoder, två-zonsmodeller eller fältmodeller (CFD). Dessutom finns modellosäkerhet i varje enskild beräkningsmodell inom de olika kategorierna. Skattning av sannolikheterna baseras oftast på historiska data från liknande system. Det innebär en osäkerhet i hur väl det system som projekteras representeras av de system som givit underlag till sannolikheterna. Sannolikheten är också beroende av kvalitén på drift och underhåll, vilken inte är känd vid projekteringstillfället. Antaganden måste göras utifrån hur anläggningen förutsätts fungera. Denna information måste föras vidare, t.ex. i drift och underhållsplanen, så den kan beaktas i det systematiska brandskyddsarbetet.

E. Osäkerhet i indata

Hur osäkerheten i indata till beräkningarna hanteras kommer att påverka riskvärderingen. Exempel på osäkerhet i variabler som påverkar brand- och utrymningsförloppet är personantal, area och effektutveckling. Dessa osäkerheter fortplantas i beräkningarna och medför en osäkerhet i resultatet, vilket illustreras av täthetsfunktionen i Figur 8. Sannolikheten modelleras i regel inte vid brandteknisk projektering och hanteras sällan som en stokastisk variabel. Av praktiska skäl uttrycks därför inte denna som en fördelning i modellen, men det är tekniskt möjligt.

F. Extrema händelser

Extrema händelser eller andra extra allvarliga konsekvenser som inte beaktas vid modellering. Även om konservativa val görs när variabler och osäkerhetsintervall skattas finns alltid fall som bedöms som alltför osannolika att beakta.

G. Grova fel.

Mycket ovanliga händelseutvecklingar som kan bestå av en rad olika händelsekombinationer som är svåra eller omöjliga att förutse.

Modellerna i Figur 7 och Figur 8 kan kombineras genom att låta olyckskategori 1 & 2 representeras av osäkerhetstyperna B, C, D & E, medan olyckskategori 3 representeras av osäkerhetstyperna F & G. Osäkerhet av typ A är gemensam för alla kategorierna av olyckor genom att den uttrycker sannolikheten för att en brand (olyckan) ska ske.

3.3.3 Värdering av acceptabel risk

Att vid verifiering utföra en fullständig riskanalys där alla osäkerheterna hanteras låter sig inte göras av tidsmässiga skäl. Dessutom saknas kunskap om flera viktiga samband och det råder brist på data för många variabler vilket leder till väldigt stora osäkerheter i resultaten. Därför är det inte lämpligt att försöka formulera en risknivå för en hel byggnad. Genom att avgränsa analysen till de scenarier som berörs, kan tillräcklig information inhämtas för att värdera hur säkerheten påverkats vid en relativ analys. Med en relativ analys minskar kravet på hantering

av osäkerhet väsentligt, eftersom en rangordning av alternativ är aktuellt i stället för en analys av ett absolut riskmått (Lundin et al., 2003). I regel är det bara nödvändigt att jämföra de scenarier där riskbidraget påverkats för att konstatera hur den totala risken har påverkats. Ett problem är att identifiera vilka scenarier detta är utan att behöva analysera alla i detalj. Om de osäkerheter och variabler som påverkats av förändringen identifieras, går det att med modellen i Figur 8 kartlägga vilka scenarier där konsekvensen och/eller sannolikheterna ändrats. Lämpliga frågor för att kartlägga detta är ”Har scenariostrukturen förändrats?” eller ”I vilka scenarier påverkas konsekvensen eller sannolikheten av den förändring som görs?”. Nackdelen med en relativ analys är att en referenslösning att jämföra med måste tas fram, vilket tar tid.

3.4 Extrema händelser & grova fel

För att utforma ett effektivt brandskydd som motverkar extrema händelser och grova fel, d.v.s. osäkerheter av typ F och G i Figur 8, krävs andra metoder än den kvantitativ riskanalys.

3.4.1 Extrema händelser

Extrema händelser förknippas ofta med en väldigt stor belastning på ett system, t.ex. att det blåser väldigt mycket eller att snölasten på en byggnad blir väldigt stor. Dessa händelser går i regel att förutspå och dessutom är orsak och verkan kända. Vid dimensionering fattas beslut om vilka händelser som ska beaktas och vilken ambitionsnivå som brandskyddet då ska hålla. En del händelser medför stora konsekvenser, men deras sannolikhet är så låg att riskbidraget blir så litet att dessa inte beaktas. Vid dimensionering av utrymnings säkerhet beaktas sällan vissa typer av anlagda bränder, t.ex. flera bränder samtidigt, sabotage eller bränder i stora mängder brännbar vätska som avsiktligt antänts (anlagd brand). Vissa typer av händelser är det varken ekonomiskt eller praktiskt möjligt att hantera med hjälp av byggnadstekniskt brandskydd.

Ett exempel på en metod för att hantera sällsynta men allvarliga händelser vid dimensionering av bärande konstruktioner är extremvärdesteori. Samma metodik kan inte tillämpas vid dimensionering av utrymnings skydd utan en anpassning. Vid skydd mot extrema händelser i samband med dimensionering av brandskydd föredras ofta åtgärder som medför en handlingsberedskap med möjlighet till anpassning beroende på händelseutvecklingen. Ofta är det svårt att veta var en allvarlig brand kommer att starta och det blir alltför kostsamt med åtgärder som är lokalt begränsad i en byggnad (punktskydd). Räddningstjänst är ett exempel på en resurs som kan användas vid extrema händelser och som svarar mot flera typer av händelser. Utbildning av personal är en annan sådan åtgärd.

3.4.2 Grova fel

För många tekniska system, t.ex. bärande konstruktioner (Albertsson et al., 1982) eller kemisk processindustri (Rasmusson, 1997), är det sällsynt att allvarliga olyckor kan härledas till en serie av slumpmässiga felhändelser. I stället är det andra typer av felmekanismer som ligger bakom. Ett samlingsnamn för den typen av fel är grova fel, vilka kännetecknas av att de är oförutsedda händelser som inte beaktas vid dimensionering. Händelserna kan inte predikteras med statistiska metoder utan är annorlunda i sin karaktär. Felen kan uppkomma under både projektering, konstruktion och brukstiden och är i väldigt hög grad kopplad till mänskligt felhandlande.

Några olika typer av uppkomstmekanismer presenteras nedan (Ellingwood, 1987):

- oförsiktighet, nonchalans, försumlighet,
- otillräcklig kunskap,
- glömska, misstag och missförstånd eller
- förtroende som medför utebliven kontroll.

En systematisk sammanställning av problem som följer av detta vid brandteknisk projektering har inte utförts, men några exempel diskuteras nedan:

- Grova fel som kan uppstå under projekteringen är t.ex. utelämnandet av viktiga brandscenarier i beräkningarna, felaktiga antaganden om brand och utrymningsförloppet, räknefel, felskrivning på ritningar eller i brandskyddsdokumentationen, bristande tillvägagångssätt vid verifiering. Ytterligare exempel redovisas av Lundin (2001).
- Allvarliga fel vid utförande kan bero på ändringar av ritningsunderlaget utan att brandsakkunnig kontaktas, byte av material eller komponenter till något som tros vara likvärdigt men har väsentligt sämre egenskaper, byggnaden uppförs inte enligt ritningarna genom att beslut tas på byggplatsen, dåligt utfört arbete, t.ex. val av svårförståliga utrymningsbeslag vid installation, avsaknad av tätning vid genomföringar eller undermålig installation av tekniska system.
- Under brukarskedet kan grova fel utgöras av att lokalen används till aktiviteter som den inte är dimensionerad för, t.ex. övernattnig i matsalar eller dans med alkoholservice i gymnastikhallar. Skyddssystem kan ha kopplats bort p.g.a. felfunktion eller bekvämlighet, t.ex. att dörrar i brandcellsgräns ställs upp eller att utrymningsvägar låses.

En extremhändelse kan anses vara ett grovt fel om feltypen eller uppkomstmekanismerna inte alls behandlades under dimensioneringen, d.v.s. projektören var inte medveten om faran. Vanligtvis är dock extrema händelser något som projektören medvetet bortser ifrån vid projekteringen för att händelsen inte anses vara dimensionerande. Då utgör händelsen en del av den acceptabla risken.

En hel del oförutsedda händelser kan inte hanteras med byggnadstekniskt brandskydd. Att dimensionera bredare utrymningsvägar för att kompensera för ett potentiellt bristande drift- och underhållsarbete är inte effektivt. Potentiella fel bör i stället elimineras genom effektiv kontroll under projektering, byggande och användning (Albertsson et al, 1982). I byggprocessen finns en rad olika typer av kontroller som syftar till att identifiera grova fel och utgör en viktig del i kvalitetssäkringen av byggnadens brandskydd.

Under projekteringen skall byggherren bedriva egenkontroll. Den kan utföras på olika nivåer beroende på komplexiteten i projektet. Dessutom finns en viss form av extern kontroll som utförs av handläggaren på byggnadsnämnden. I denna kontroll innefattas en bedömning av om byggherren har tillräcklig kompetens för projekteringen och om ett väl fungerande kvalitetssäkringssystem tillämpas. En kontrollplan ska upprättas där lämplig nivå och omfattning av kontrollen specificeras. Sedan är det upp till den kvalitetsansvariga att se till att planen efterlevs. Metoder finns framtagna för att underlätta en systematisk bedömning av kontrollbehov vid projektering (Lundin, 2004). Exempel på en indelning av kontrollbehovet i olika nivåer redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Olika nivåer av dimensioneringskontroll.

Kontrollnivå	Beskrivning
1	Utföraren kontrollerar sig själv.
2	Någon annan konsult med minst samma kompetens utför kontrollen. Denna kan arbeta på samma företag.
3	Tredjepartskontroll - en fristående kontrollant. Kontrollanten bör arbeta på annat företag för att vara en oberoende person och ska inte tidigare varit delaktig i projektet.

Om en byggnad är komplicerade eller om nya metoder och tekniker används vid projektering kan det finnas behov av använda tredjepartskontroll, som bl.a. syftar till att upptäcka grova fel. Denna person måste vara oberoende så att orsaken som bidragit till att ett eventuellt fel uppkommit från första början inte påverkar kontrollantens bedömning. Forskningsresultat visar att oberoende kontroll är en förutsättning för att upptäcka grova fel (Ellingwood, 1987), så att grundläggande förutsättningar ifrågasätts och lösningsstrategier skärskådas. Byggnadsnämnden kan även utföra stickprovskontroll om behov finns, men det sker väldigt sällan. Tredjepartskontrollen ska inte förväxlas med fristående sakkunnig kontroll som byggnadsnämnden kan begära, utan är en del av byggherrens egenkontroll.

Byggnadsnämnden försäkrade sig tidigare om att byggnaden uppförts planenligt genom en slutbesiktning. Idag har slutbesiktningen ersatts av utfärdande av ett slutbevis, men det finns inte krav på att platsbesök ska vara förknippat med detta utan det ska ses som ett kvitto på att byggherren och byggnadsnämnden är överens om att kontrollplanen följts. Slutbeviset utgör ingen garanti för att byggnaden eller anläggningen uppfyller alla ställda krav (Boverket, 1995).

I brukarskedet har en del innehavare trots att räddningstjänsten skött kontrollen av brandskyddet genom brandsyn, vilket är ett missförstånd. Den traditionella brandsynen kan snarare liknas vid en stickprovskontroll, vilken förvisso hade god potential att identifiera grova fel men innebar inte någon heltäckande kontroll. I och med införandet av Lagen om skydd om olyckor (LSO, 2003) har ägaren och innehavarens ansvar för brandskyddet förtydligas och krav ställs på ett s.k. systematiskt brandskyddsarbete (SBA). Tanken är att SBA ska behovsanpassas till den aktuella verksamheten och innefatta en rad aktiviteter som syftar till att identifiera och åtgärda grova fel. Exempel på sådana är kontinuerligt drift och underhållsarbete av brandskyddet, återkommande kontroll av viktiga brandskyddssystem, t.ex. sprinkler samt utbildning. Kommunens roll blir framförallt att bedriva tillsynsverksamhet och fokusera på hur ägaren och/eller innehavaren arbetar med SBA, inte att studera detaljer.

Inom andra områden har liknande krav ställts sedan tidigare, t.ex. arbetsmiljö, och det finns gott om exempel på hur ett strukturerat arbete kan skapas genom någon form av systematiskt säkerhetsarbete. En viktig del i ett sådant arbete är att upprätta ett ledningssystem som beskriver hur arbetet ska fungera, målsättningen, vem som ansvarar för vad etc.

3.4.3 Systematiskt säkerhetsarbete

Både grova fel och extrema händelser kan leda till katastrofer, d.v.s. olyckor med stora konsekvenser. Förutsättningarna att förhindra dessa med byggnadstekniskt brandskydd är begränsade. Till viss del kan det ske genom att lite allvarigare scenarier beaktas vid verifiering, men det är också nödvändigt med kompletterande åtgärder. Förutsättningarna att skapa

ett brandskydd som motverkar allvarliga händelser genom att utgå från organisatoriska åtgärder verkar mycket lovande. SBA är ett exempel på systematiskt säkerhetsarbete.

Ett ledningssystem för säkerhetsarbetet består av policy, rutiner och instruktioner. För att detta ska få någon effekt i verksamheten är en arbetsmodell nödvändig. Inom brandskyddsområdet finns lite olika koncept och produkter, t.ex. Tryggve (Hybring, 2003), IBK (SBF, 1995) och SBA (SRV, 2001), men ett väletablerat tillvägagångssätt saknas. En generell modell för hur ett ledningssystem kan se presenteras i "Assessing safety management systems" (Santos-Reyes et al., 2002). Modellen består av följande komponenter:

- policy, rutiner och instruktioner,
- planering & organisation,
- genomförande (implementering),
- mätning & utvärdering samt
- granskning, revidering och förbättring.

Genom att arbeta aktivt med systematiskt säkerhetsarbete bedöms förutsättningarna vara goda att uppmärksamma brister och fel i brandskyddet under användningen av byggnaden, men det förutsätts att byggnadens brandskydd projekterats rätt från början.

Inom andra områden har det tydligt framgått att en förutsättning för att ett bra systematiskt säkerhetsarbete ska ske är att de anställda är motiverade och engagerade att arbeta med frågorna. Begreppet säkerhetskultur är en sammanfattande benämning på faktorer som karaktäriserar säkerhetstänkandet på ett företag och utgör en väldigt viktig komponent i det totala säkerhetsarbetet. Exempel på sådana förhållanden är (Ek, 2002):

- lärande,
- rapportering,
- flexibilitet,
- rättvisa,
- attityder till säkerhet,
- beteende vad gäller säkerhet,
- kommunikation,
- riskperception samt
- arbetsförhållande.

Att arbeta aktivt med dessa frågor anses därför vara nödvändigt för att kunna skapa ett effektivt systematiskt säkerhetsarbete.

3.4.4 Brister vid identifiering av grova fel i byggprocessen

Vid projektering av brandskyddet finns inte ett lika tydligt ledningssystem som vid brukarskedet. En svårighet är att det inte är uttalat vem som ansvarar för att detta arbete leds på ett riktigt sätt och har ett övergripande samordningsansvar. En funktion som kan fånga upp fel och brister i detta arbete saknas.

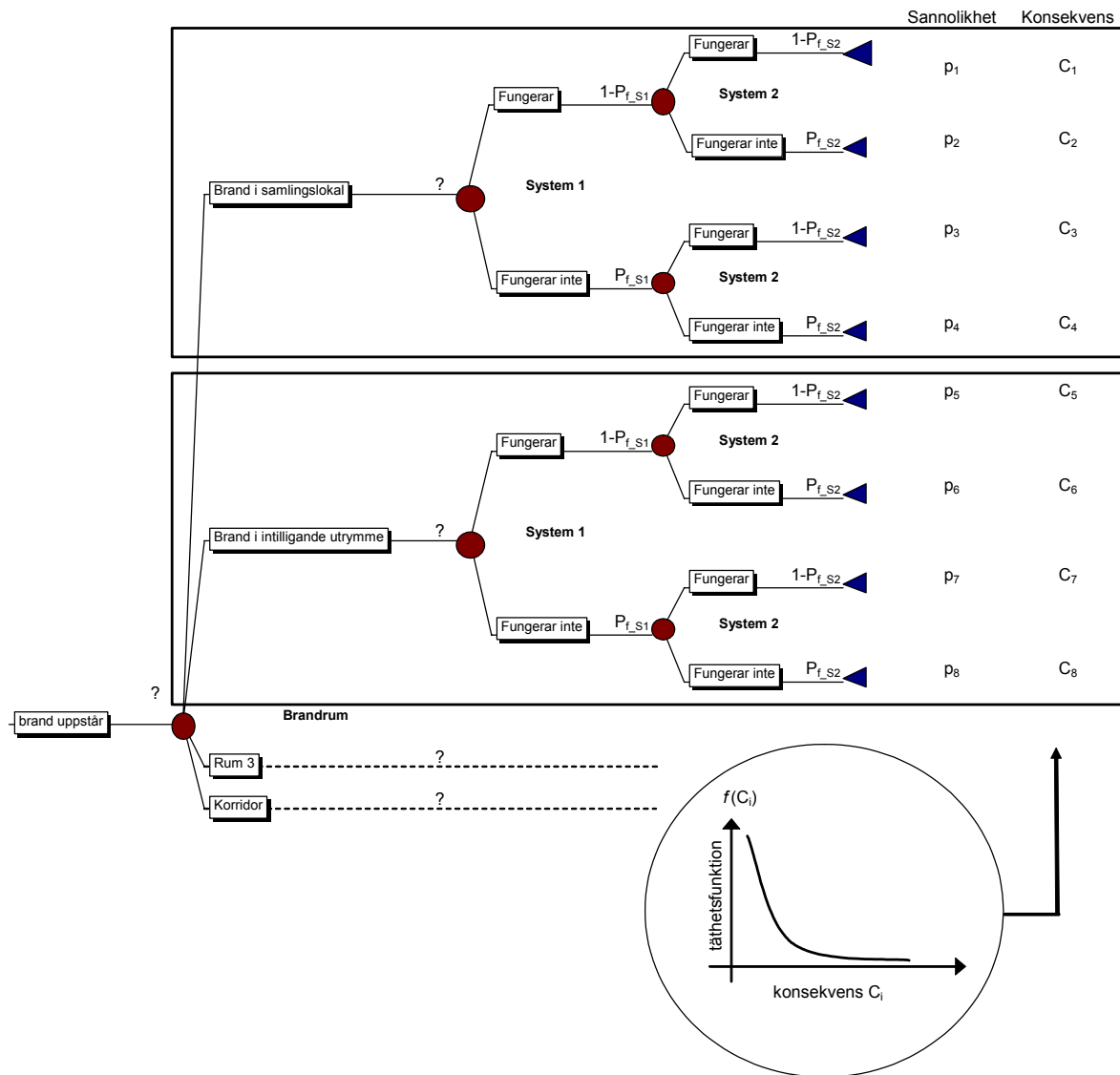
Vid en genomgång av ett antal projekt (Lundin, 2001) och vid diskussioner med projektörer och kontrollanter under det här projektets gång har några förutsättningar som kan minska sannolikheten att upptäcka grova fel identifieras. Det är väsentligt att ha ett väl fungerande kvalitetssäkringssystem för brandskydd och därför är det viktigt att dessa brister uppmärksammas och åtgärdas.

-
- Egenkontrollen hos mindre firmor kan bli problematisk eftersom antalet anställda är få och det kan vara svårt att leva upp till de högre nivåerna på kontroll.
 - Fristående sakkunnig kontrollant begärs alltför sällan av byggnadsnämnderna.
 - Projektören och den fristående sakkunniga kontrollanten kan lätt hamna i en beroendeställning till varandra om rollerna är ombytta i andra projekt. Detta äventyrar kontrollantens oberoende och kan indirekt leda till kartellbildning.
 - En del byggnadsnämnder har inte anpassat sig till de nya kraven på kontroll som analytisk dimensionering innebär. Kontrollen utförs på samma sätt som vid förenklad dimensionering, d.v.s. handläggaren fokuserar på tekniska lösningar i stället för att undersöka byggherrens förutsättningar att lösa uppdraget på ett systematiskt sätt.
 - Kommunen har inte alltid utnyttjat hela sin kompetens p.g.a. interna samarbetsproblem. Det kan resultera i att räddningstjänsten inte får eller vill vara med i byggprocessen. Viktig återkoppling från inträffade bränder går då förlorad.
 - Personal från räddningstjänsten agerar som projektörer av brandskyddet vilket kan leda till objektivitetsproblem i samband med tillsyn.

Dessa brister har även uppmärksammats av andra och den oro som finns över den ibland bristfälliga kvalitén i byggandet har resulterat i en nationell översyn av bygglagstiftningen. PBL-kommittén har fått i uppdrag av regeringen att göra en samlad översyn av plan- och bygglagstiftningen samt lämna förslag till lagändringar. Vid författandet av denna rapport finns inga slutliga förslag men flera av de förslag på förändringar som diskuterats under kommitténs arbete och seminarier, t.ex. återinförandet av ansvarig arbetsledare och slutintyg (PBL-kommittén, 2004), kan bidra till att förbättra kvalitetssäkringen av brandskyddet.

4 Metod för riskanalys

I detta kapitel beskrivs hur en riskanalysmetod byggs upp för att utvärdera hur lämpliga olika riskmått är för att avspegla förändringar i den totala risken. Dessutom skall metoden användas för att kartlägga risken i förenklad dimensionering, vilken utgör ett nödvändigt underlag vid verifiering. I kapitlet redovisas omfattningen av analysmetoden samt hur konsekvenser och sannolikheter kvantifieras. Dessutom beskrivs hur osäkerhet som inryms i variablerna i riskanalysen hanteras. I Figur 9 redovisas omfattningen av riskanalysen som utförs i denna studie.



Figur 9. Omfattning av riskanalysen som utförs i studien.

I följande avsnitt beskrivs hur:

- sannolikheten för respektive scenario beräknas,
- konsekvensen modelleras,
- vilka riskmått som studeras och
- osäkerhetsanalysen av riskberäkningarna utförs.

I kapitel 5 tillämpas metodiken på en typbyggnad och där beskrivs i detalj tillvägagångssättet för att ta fram indata för den aktuella byggnaden. Frågetecknen i Figur 9 betecknar att det finns osäkerheter som inte hanteras med metoden. Analysen utgör ändå ett betydligt mer heltäckande underlag än vad som normalt används vid verifiering, men det är viktigt att uppmärksamma om förändringar av brandskyddet påverkar dessa osäkerheter.

4.1 Beräkning av sannolikhet

Sannolikheten beräknas genom att sannolikheterna för de olika delhändelserna i händelse-trädet multipliceras, se ekvation (3).

$$p_i = \prod_{j=1}^s p_j \quad (3)$$

$i =$ scenariobeteckning
 $p_j =$ sannolikheten för delhändelsen j
 $s =$ antalet delhändelser som utgör scenario i

Grensannolikheterna hämtas från litteratur eller skattas med hjälp av expertbedömningar när otillräckliga data finns. Rektanglarna i Figur 9 visar att analysen sker för två olika typer av bränder, där frekvensen för de båda bränderna är okända. Därför analyseras risken givet att respektive brand uppstår.

Vissa av händelserna är korrelerade, d.v.s. sannolikheten för en viss delhändelse kan påverkas av det tidigare händelseförloppet. Om rökdetektorerna inte fungerar kan sannolikheten för att utrymningslarmet inte ska fungera vara högre än om rökdetektorerna hade fungerat. Dåligt underhåll kan t.ex. ha påverkat båda systemen. I riskanalysen tas hänsyn till sådana beroenden, men p.g.a. bristande data blir grova antaganden nödvändiga.

4.2 Beräkning av konsekvens

Metodiken som används för att beräkna konsekvensen för respektive scenario är väldokumenterad (Magnusson et al., 1995; Jönsson et al., 2000). Konsekvensen anges som antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden och bestäms genom att brand- och utrymningsförloppet modelleras för respektive scenario.

Utrymningstiden delas in i faserna detektionstid, besluts- och reaktionstid samt förflyttningstid, se ekvation (4).

$$t_u = t_d + t_r + t_f \quad (4)$$

$t_u =$ utrymningstid
 $t_d =$ detektionstid (varseblivningstid)
 $t_r =$ reaktions och beslutstid
 $t_f =$ förflyttningstid

Både detektions- och reaktionstiden påverkas av verksamhetens art, egenskaper hos den grupp personer som vistas i byggnaden, lokalens utformning och brandförloppet. Detektionstiden uppskattas i regel genom att studera brandgasspridningen. Personer i en byggnad kan bli varse branden genom att ett utrymningslarm aktiveras automatisk eller manuell via larmtryckknappar, om personerna ser branden eller brandgaserna alternativt om de känner lukt och eller

hör ljud från branden. Besluts- och reaktionstiden kan vara svår att uppskatta eftersom den beror av mänskligt beteende. Tiden bestäms genom värden från handböcker eller expertbedömningar. Förflyttningstiden kan beräknas med olika typer av modeller, allt från enkla handräkningsuttryck till avancerade datormodeller.

För att bestämma tiden till kritiska förhållanden modelleras brandförloppet med två-zonsmodellen CFAST v.5 (Jones et al., 2000). Två-zonsmodellen har begränsade möjligheter att beräkna brandgasspridning i stora lokaler. En förutsättning för att antagandet om två-zonsbildning ska vara tillämpligt i en större lokal är att branden är kraftig. Vid en liten brand uppstår ofta s.k. ”well stirred conditions” brandgaserna fördelas i hela lokalen. Två-zonsmodellen är framtagen för att analysera förhållandena i det tidiga brandförloppet, innan övertändning sker. I denna studie används trots begränsningarna två-zonsmodellen för att beräkna brandgasspridning både i stora lokaler och vid övertändning. Anledningen är att ett stort antal simuleringar måste utföras (totalt drygt 200 st), vilket gör det tidskrävande att använda en CFD-modell. Effekten av detta antagande utreds i Bilaga B.

För att verifiera att CFAST på ett riktigt sätt kan beräkna förhållanden i lokalen jämförelser resultatet med CFD-simuleringar, se Bilaga C. Slutsatsen från jämförelsen mellan CFD-modellen och två-zonsmodellen är att i det aktuella fallet blir uppskattningen av tid till kritiska förhållanden rimlig. Även om förhållandena i brandrummet inte modelleras på ett riktigt sätt så ger antagandena i två-zonsmodellen ändå rimliga resultat i den större intilliggande lokalen. Detta är ett förenklat angreppssätt som medför begränsningar. Om produktion av energi och massa i brandrummet stämmer överens med den övertända branden så verkar spridning av brandgas överensstämma bra med mer komplicerade modeller i det aktuella fallet.

Konsekvensen för varje scenario bestäms genom att tiden till kritiska förhållanden beräknas och sedan studeras utrymningsförloppet för att bestämma hur många som inte har hunnit utrymma vid denna tidpunkt.

4.3 Riskmått (R)

Riskmått används som underlag till riskvärderingen. Det är viktigt att välja ett riskmått som på ett riktigt sätt avspeglar skillnaden i risk vid en jämförelse mellan olika alternativ. Tidigare har en rad olika tillvägagångssätt tillämpats vid analys av brandsäkerhet i byggnader (Kristiansson, 1996; Frantzich, 1998; Olsson et al., 1999; Angerd, 1999). Vissa riskmått har allvarliga begränsningar i hur, och när, de är lämpliga för att beskriva hur risken påverkas. Ett delmål i detta arbete är att studera hur flera olika riskmått återspeglar förändringen i den totala risken. Följande riskmått studeras:

1. Konsekvens i scenariet då allting fungerar
2. Största konsekvensen då ett skyddssystem inte fungerar (single source failure).
3. Konsekvensen vid värsta scenariot (worst-case scenario).
4. Individrisk.
5. Individrisken för den mest utsatta personen
6. Medelrisk.
7. Riskprofil.

De första tre riskmåttarna är scenariobaserade och utgörs av konsekvensen i ett visst scenario. Att utforma generella riktlinjer för scenarioval är svårt eftersom uppsättningen av scenarier kan ändras från fall till fall och är även beroende på hur riskanalysen struktureras. För att på

ett mer heltäckande sätt representerar informationen i ett händelsetråd används två individriskmått, P_{individ} och $P_{\text{sämst}}$, samt två samhällsriskmått, medelrisk (R) och riskprofil. Båda dessa riskmått är vanligt förekommande i många riskanalyssammanhang men har hittills använts i begränsad utsträckning när det gäller brandteknisk riskanalys.

4.3.1 Individrisk

Individrisken vid en brand definieras som sannolikheten att påverkas av kritiska förhållanden givet att en person vistas i lokalen när brand uppstår. Den beräknas genom att dela antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden med antalet personer som visats i lokalen. Denna andel utgör ett mått på hur stor sannolikheten är för en enskild person att tillhöra den grupp som exponeras för ett bestämt scenario. Riskbidraget från olika scenarier skiljer sig eftersom antalet personer som utsätts för kritiska förhållanden varierar. Individrisken från varje enskilt scenario viktas med avseende på hur sannolikt varje scenario är, se ekvation (5) och (6), för att beräkna individrisken givet att brand uppstår.

$$P_{I_i} = \frac{c_i}{N} \quad (5)$$

$$P_{\text{individ}} = \sum_{i=1}^n (p_i \cdot P_{I_i}) = \sum_{i=1}^n \left(p_i \cdot \frac{c_i}{N} \right) = \frac{R_{\text{medel}}}{N} \quad (6)$$

P_{individ} =	sannolikheten att påverkas av kritiska förhållanden givet brand
P_{I_i} =	sannolikheten att påverkas av kritiska förhållanden givet scenario i
R_{medel} =	medelrisken
c_i =	antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden givet scenario i
N =	antalet personer i lokalen
p_i =	sannolikheten för scenario i
n =	antalet scenarier
i =	indexnummer för respektive scenario

Till skillnad från platsspecifik individrisk blir individrisken enligt ekvation (6) en funktion av hur många personer som vistas i lokalen. Individrisken blir en mått på sannolikheten att utsättas för kritiska förhållanden när risken fördelas jämt på personerna i byggnaden. Därför finns också behov av att studera hur individrisken fördelar sig i en lokal, så att inte en enskild individ exponeras för en alltför hög risk. Risken att påverkas av kritiska förhållanden bör variera t.ex. med hur långt från en utrymningsväg som en person befinner sig. Med ekvation (7) kan individrisken för den sämst belägna personen beräknas.

$$P_{\text{sämst}} = \text{MAX} \left[\sum_{i=1}^n (p_i \cdot P_{mi}) \right]_{m=1}^{m=N} \quad (7)$$

$P_{\text{sämst}}$ =	individrisken för den sämst belägna individen givet brand
P_{mi} =	individrisken för person m i scenario i
N =	antalet personer i lokalen

4.3.2 Samhällsrisk

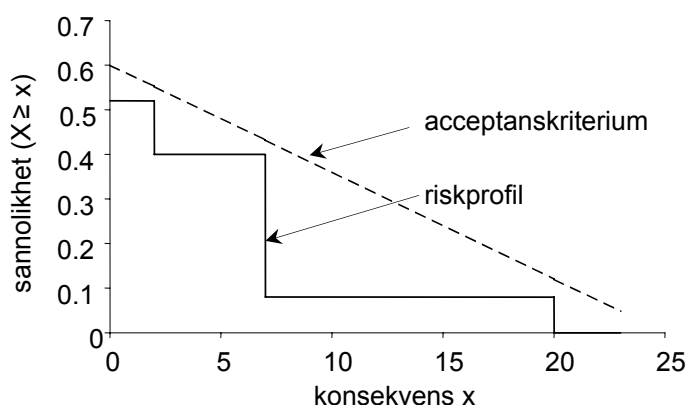
Två olika typer av samhällsriskmått analyseras. Det mest välkända samhällsriskmålet är medelrisk och det förordas i samband verifiering med hjälp av brandteknisk riskanalys (Lundin et al, 2003). I brandteknisk riskanalys är det lämpligt att definiera medelrisk som det förväntade antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden givet brand. Riskmålet är

en sammanvägning av riskbidraget från alla scenarier, till skillnad från de scenariobaserade riskmåten.

$$R_{medel} = \sum_{i=1}^n (p_i \cdot c_i) \quad (8)$$

R_{medel} = medelrisken givet brand
 c_i = antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden vid scenario i
 p_i = sannolikheten för scenario i
 n = antal scenarier

Ett alternativ till medelrisk är F/N kurvan eller en riskprofil, se Figur 10. F/N-kurvan beskriver alla möjliga utfall som ett händelseträd representerar i form av en komplementär kumulativ fördelningsfunktion (CCDF). F i F/N står för "frequency", d.v.s. frekvens som är ett mått på sannolikhet, och N står för "number of fatalities", d.v.s. antalet döda. Eftersom konsekvensen i brandriskanalysen mäts i antalet påverkade av kritiska förhållanden kallas F/N-kurvan för riskprofil för att undvika sammanblandning och felaktig jämförelse.



Figur 10. Ett exempel på en riskprofil.

4.3.3 En kombination av riskmått

Ett exempel som visar på vikten av att använda olika typer av riskmått är om det vistas 100 personer i en lokal och 5 personer inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Det medför att individrisken är $5 / 100 = 0.05$ per brand och att samhällsrisken är 5 personer påverkade av kritiska förhållanden givet brand. Om lokalen jämförs med en betydligt mindre lokal, där 10 personer vistas och konsekvensen blir den samma, kommer en rangordning av risken att påverkas av vilket riskmått som studeras. Samhällsrisken blir fortfarande 5 personer per brand, medan individrisken blir 0.5 per brand, d.v.s. sannolikheten att bli påverkad av kritiska förhållanden givet brand är 50%. Jämförelsen förutsätter att sannolikheten för brands uppkomst är samma i båda lokalerna. Att enbart studera samhällsrisken ger intryck av att lokalerna är lika säkra att vistas i, medan individrisken visar att givet brand i lokalen är sannolikheten att påverkas av kritiska förhållanden betydligt högre i den mindre lokalen. Slutatsen blir att det är lämpligt att använda en kombination av riskmåten för att både kunna studera följderna för enstaka individer och följderna (politisk) för samhället.

4.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys kommer att utföras där indata till riskberäkningarna varieras på ett systematiskt sätt för att undersöka effekten på de olika riskmåten. Dessutom undersöks

effekten av en del antaganden som görs. Analysen ger underlag för att bedöma vilka variabler som ska prioriteras i den fortsatta osäkerhetsanalysen och vilka riskmått som ska studeras vidare.

4.5 Osäkerhetsanalys av riskberäkningarna

I osäkerhetsanalysen av riskberäkningarna studeras effekten av osäkerheter som inte uttryckligen modelleras i händelseträdet. Dessa utgörs av osäkerheter i variabler som ingår i konsekvens- och sannolikhetsberäkningarna för respektive scenario och kan vara av olika karaktär. Därför delas variablerna in i två stycken grupper.

Grupp 1

Till grupp 1 hör variabler som är osäkra (varierar) för en enskild byggnad. Det kan vara orsakat av naturlig variation eller kunskapsosäkerhet. Exempel på variabler med naturlig variation är effektutveckling, personantal och gånghastighet. Denna typ av osäkerhet benämns ofta som typ A osäkerhet (IAEA, 1989) och kännetecknas av variation som är slumpmässig och som inte går att reducera, vilket innebär att risknivån oundvikligen kommer att variera i en lokal. Kunskapsosäkerhet härstammar från bristande kunskap och exempel på sådana variabler är andelen personer som väljer att utrymma samma väg som de kom in i lokalen genom, utbildningsnivån i en specifik lokal etc. Kunskapsosäkerhet går att reducera genom att skaffa ytterligare information och brukar benämnas osäkerhet av typ B (IAEA, 1989).

Grupp 2

Till grupp 2 hör variabler som är osäkra när en klass av byggnader studeras, men som inte varierar för en specifik lokal. Exempel på sådana variabler är höjd och golvyta. Hastigheten på brandförloppet och brandgasfyllnaden kan skilja mycket mellan en hög och en låg byggnad och därmed eventuellt också risknivån. Arealen påverkar hur många som kan vistas i lokalen. En alltför stor skillnad i risknivå mellan olika byggnader inom samma byggnadsklass är inte önskvärd. Ändå finns stor frihet för en arkitekt eller projektör att utforma lokaler på en rad olika sätt inom ramen för förenklad dimensionering, vilket medför att en viss variation i risknivå förväntas för en och samma lokaltyp. Denna variation kan observeras om ett stort antal byggnader studeras, t.ex. en viss typ av lokaler på nationell nivå (Kristiansson, 1996), men kan inte observeras genom att studera en enskild lokal när den väl dimensionerats och uppförts.

I osäkerhetsanalysen kommer variationen i risknivå till följd av osäkerheter i båda grupperna att studeras. Analysen kommer att utföras när grupp 1 och 2 varieras samtidigt samt när respektive grupp varieras var för sig.

4.6 Förutsättningar för analysen

Om en klass av byggnader studeras i stället för en specifik byggnad kommer även brandskyddet att påverkas när utformningen av lokalen ändras. Om variablerna som hör till grupp 2 tillåts variera helt oberoende av varandra skulle det inte ge en rättvisande bild av variationen i den faktiska risknivån. Därför är det nödvändigt att ta hänsyn till det samband mellan variablerna som förenklad dimensionering innebär, t.ex. att antalet dörrar och den totala utrymningsbredden beror av personantalet i byggnaden. Utrymningsvägarna måste vara fler, eller åtminstone bredare, om en lokal byggs för ett stort antal besökare jämfört med en mindre lokal. Sambanden mellan variabler i de allmänna råden, t.ex. personantal och total utrymningsbredd, kommer att beaktas i osäkerhetsanalysen så att variation i risknivån ska överensstämma med förenklad dimensionering.

5 Byggnadstyp – beskrivning och indata

Allhelgonakyrkan i Lund är en lokal som rymmer ca 1000 personer och har använts som typbyggnad för den klass av byggnader som riskanalysmetoden tillämpas på. Geometri och proportioner från denna byggnad har använts som indata och presenteras senare i detta kapitel. Lokalen anses vara representativ för andra typer av verksamheter som bedrivs i samlingslokaler, t.ex. teater, konferens, föredrag och undervisning.

Följande villkor är hämtade från Boverkets rapport ”Dimensionering av utrymningssäkerhet” (Boverket, 2004) och har använts för att definiera förenklad dimensionering för den aktuella lokaltypen. Lokalen i fråga är en samlingslokal, d.v.s. fler än 150 personer vistas i lokalen och de förväntas inte ha god lokalkännedom. Varje utrymningsväg ska ha en fri bredd på minst 1.20 m. Den totala bredden av samtliga utrymningsvägar ska vara minst 1 m per 150 personer. Om en av utrymningsvägarna är blockerad ska de övriga ha en sådan bredd att 1 m motsvarar 300 personer. Om fler än 600 personer vistas i lokalen krävs 3 utrymningsvägar och om fler än 1000 vistas i lokalen krävs minst 4 utrymningsvägar. I lokalen skall även finnas utrymningslarm som aktiveras automatiskt och är kompletterat med knappar för manuell aktivering.

5.1 Två typbränder

Två typbränder används för att representera flera olika bränder som kan uppkomma i lokalen. En typbrand i det här sammanhanget definieras som en startplats för branden. Givet att branden startar kan en rad olika brandscenarier uppstå beroende på händelseutvecklingen.

Motiven till att studera två typbränder är att dessa båda representerar en stor grupp av de olika bränder som kan uppkomma i byggnaden. Tillsammans kan de användas för att representera en rad olika möjliga brandscenarier i lokalen. Eftersom det inom projektet funnits tidsmässiga begränsningar har inte antalet bränder kunnat utökas.

Brandförloppen påverkas inte av personerna i byggnaden när de utrymmer. Däremot påverkas utrymningsförloppet av brandförloppet, exempelvis genom att branden kan spärra en utrymningsväg. I följande avsnitt beskrivs indata och hur modellering sker vid riskberäkningarna för de båda typbränderna.

Brand i samlingslokalen – typbrand 1

En av typbränderna utgörs av en brand som startar inne i samlingslokalen. Vid verifiering av att brandsäkerheten är tillräcklig är det ofta den enda brand som används. Brand antas vara välventilerad och växer sig så stor att den inte kan släckas av personerna i byggnaden. Den kan förväntas representera olyckor av kategori 1 i avsnitt 3.1. Gruppen av scenarier som kan uppkomma vid denna brand, beroende på funktionen hos tekniska system m.m., kallas för typbrand 1.

Brand i ett intilliggande utrymme – typbrand 2

En annan typ av brand som inte inträffar lika ofta, men som vid flera tillfällen har visat sig leda till allvarliga skador är en brand som börjar i ett intilliggande utrymme och snabbt växer till övertändning innan personer börjar utrymma. Vid denna typ av brand sker ofta brandgas-spridning snabbt och om branden är underventilerad blir siktförhållanden snabbt dåliga. Denna brand antas vara underventilerad. Branden representerar olyckor av kategori 2 i avsnitt 3.1. Den grupp av scenarier som kan uppkomma vid denna brand, beroende på funktionen hos tekniska system m.m., kallas för typbrand 2.

5.1.1 Sannolikheter och tillförlitlighetsdata

Effekten av följande händelser och tillstånd hos tekniska system beskrivs med hjälp av händelseträäd:

- låst dörr,
- blockerad dörr till följd av brand,
- utrymningslarm,
- brandlarm och
- manuell aktivering.

Felsannolikheterna presenteras i Tabell 3. Många av dessa utgår från generell statistik och har sedan anpassats till lokala förhållanden genom bedömningar. Betydelsen av det valda värdet på sannolikheten studeras i en känslighetsanalys, se kapitel 6.

Tabell 3. Tillförlitlighetsdata för de brandtekniska system och händelser som modelleras.

Tekniskt system	Felsannolikhet (P_f)	Referens
Rökdetektorer / brandlarm	0.03	BSI, 1997
Utrymningslarm	0.05	Expertbedömning
Utrymningslarm vid manuell aktivering givet att rökdetektorerna inte fungerar.	0.5	Expertbedömning
Manuell aktivering	0.5	Expertbedömning
Utrymningsväg blockerad genom möblering eller låst	0.05	Expertbedömning

När det finns två utrymningsvägar (eller fler) utöver den ordinarie entrén så beräknas sannolikheten att en utrymningsväg blockeras genom möblering eller låsning genom att multiplicera felsannolikheten 0.05 med antalet utrymningsvägar.

När branden startar i samlingslokalen (typbrand 1) beräknas sannolikheten för att branden blockerar entrén eller någon annan utrymningsväg som funktion av lokalens area. En brand antas spärra av en yta av 25 m² p.g.a. strålning (Magnusson et al., 1995). Sannolikheten för att någon utrymningsväg ska blockeras av branden beräknas enligt ekvation (9) – (13) för fallen *ingen dörr är låst* samt *en dörr är låst*.

Ingen dörr är låst

Branden antas slumpmässigt uppstå i lokalen, vilket gör att sannolikheten för att en viss typ av utgång skall bli blockerad är proportionell mot antalet öppningar.

$$P_{enté_bl} = \frac{25}{A} \quad (9)$$

$$P_{övrig_bl} = \frac{U \cdot 25}{A} \quad (10)$$

$$P_{ingen_bl} = 1 - P_{enté_bl} - P_{övrig_bl} \quad (11)$$

$A =$ arean i lokalen
 $P_{enté_bl} =$ sannolikheten att entrén blockeras av branden
 $P_{övrig_bl} =$ sannolikheten att en övrig utgång blockeras av branden
 $P_{ingen_bl} =$ sannolikheten att ingen utgång blockeras av branden
 $U =$ antalet utrymningsvägar exklusive entrén

En dörr är låst

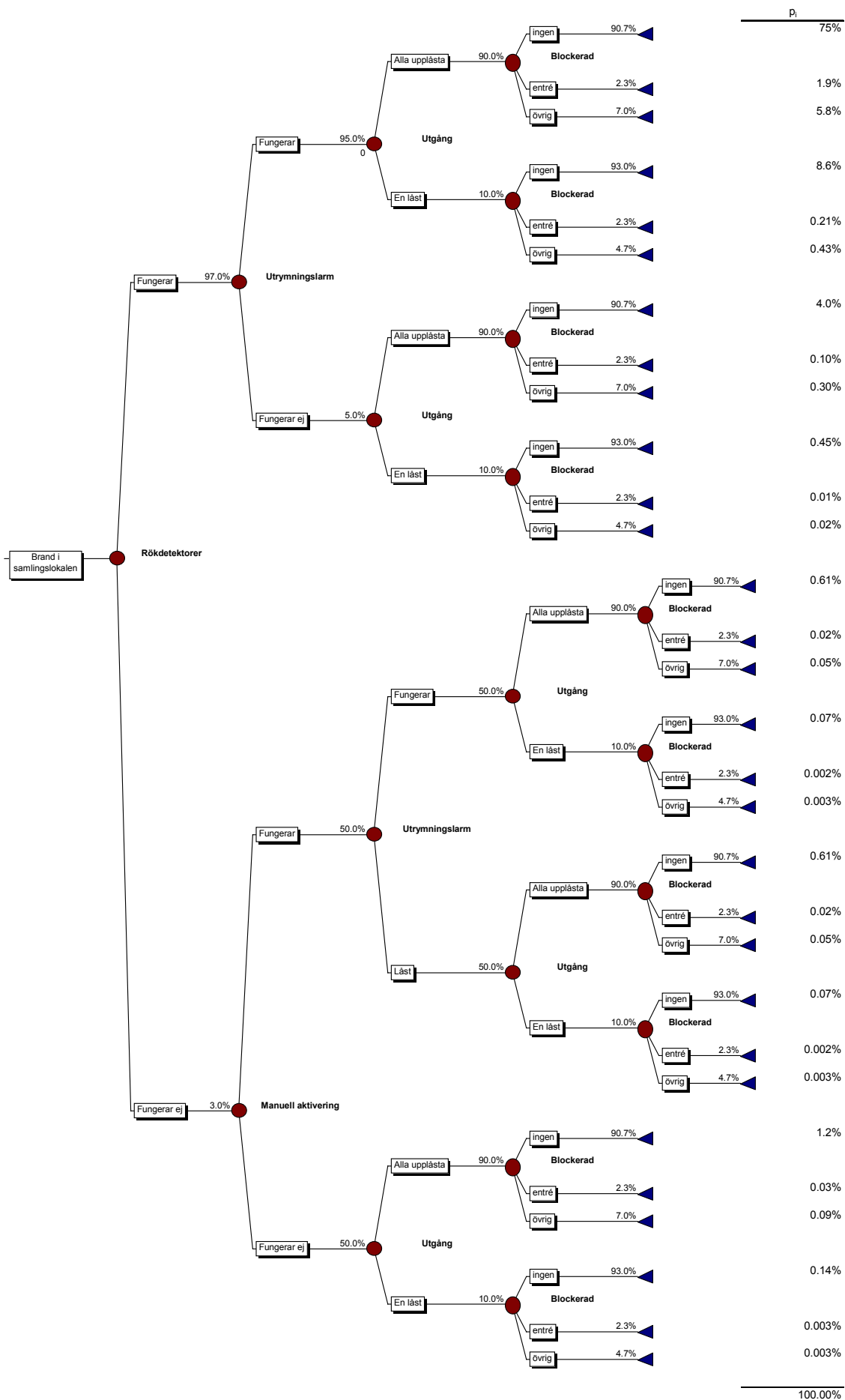
Detta fall är enbart aktuellt när det finns 3 eller 4 dörrar, eftersom entrén och sakristian förväntas vara upplåsta under ordinarie verksamhet.

$$P_{enté_bl} = \frac{25}{A} \quad (12)$$

$$P_{övrig_bl} = \frac{(U-1) \cdot 25}{A} \quad (13)$$

5.1.2 Typbrand 1 – Brand i samlingslokalen

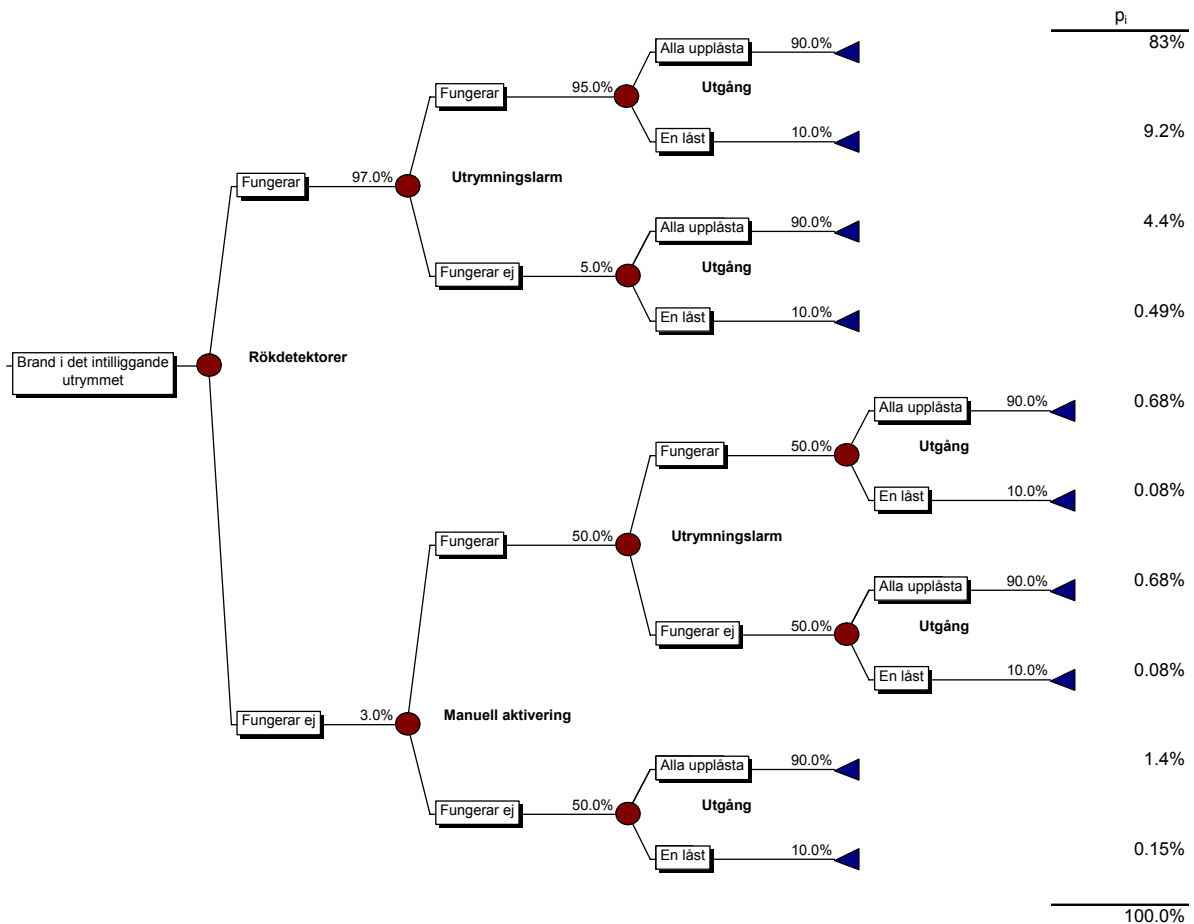
Vid denna typbrand karaktäriseras brandförloppet av en växande brand som startar någonstans i lokalen. Placering antas vara slumpmässig och blockerar därmed med viss sannolikhet en utrymningsväg. Om det finns fler än två utgångar från samlingslokalen kan en av dessa vara blockerad av möblemang, alternativt vara låst. Händelseträdet för typbrand 1 presenteras i Figur 11.



Figur 11. Händelseträd för brand i samlingslokalen.

5.1.3 Typbrand 2 – Brand i ett intilliggande utrymme

Typbrand 2 representerar en allvarigare brand, exempelvis en övertänd brand som börjar i ett intilliggande utrymme. Branden antas starta i ett städförråd, personalrum, kök, lager, förvaringsutrymme, källare eller liknande. Händelseträdet för typbrand 2 illustreras i Figur 12.



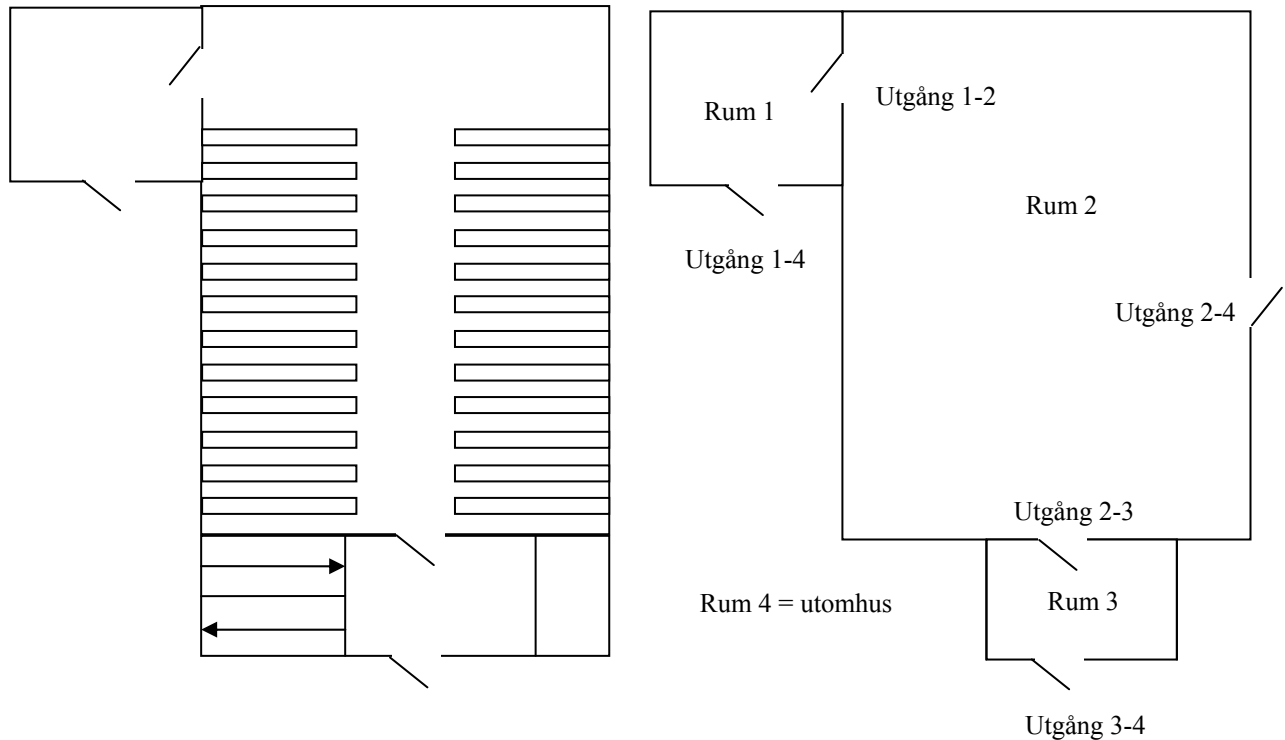
Figur 12. Händelseträd för brand som startar i ett intilliggande utrymme till samlingslokalen.

5.2 Indata till modellering av brandförlopp

I detta avsnitt redovisas indata till beräkningarna av brandförloppen för de båda typbränderna.

5.2.1 Geometri för referensbyggnaden

Geometri och indata till CFAST beskrivs i Figur 13 samt Tabell 4 och 5. Indatafilen till CFAST redovisas i Bilaga D.



Figur 13. Planskiss för referensbyggnaden.

Tabell 4. Rumsgeometri och byggnadsmaterial.

	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]	Vägg-, golv- och takmaterial
Rum 1	2	3	2.4	Betong
Rum 2	25	40	6	Betong
Rum 3	3	6	2.4	Betong

Tabell 5. Öppningarnas dimensioner.

	Bredd [m]	Höjd [m]
Utgång 1-2	1.2	2
Utgång 2-3	2.2	2
Utgång 1-4	2.2	2
Utgång 2-4	2.2	2
Utgång 3-4	2.2	2

Vid typbrand 2 antas öppningen mellan brandrummet (rum 1) och samlingslokalen (rum 2) vara 1.20 m vilket motsvarar att en av två dörrar öppnas eller att en del av dörren försvinner när branden det brinner igenom dörren.

5.2.2 Effektutveckling

Spridningen av brandgas ser annorlunda ut vid brand i det intilliggande utrymmet, eftersom den ofta blir ventilationskontrollerad vilket leder till att produktionen av giftiga gaser ökar markant (Tewarson, 1995). Även siktnecksättningen sker betydligt snabbare än vid en välventilerad brand. Samtidigt krävs en mycket större omblandning av brandgaserna för att dessa ska fördela sig jämt i lokalen. Även i relativt stora lokaler uppkommer en två-zons bildning vid en kraftigare brand, vilket gör att brandgaslagrets höjd kan vara en god indikator på när både toxicitet, sikt och temperatur når kritiska nivåer. En detaljerad beskrivning av hur de båda brandförloppen modelleras redovisas i Bilaga B.

5.3 Indata till modellering av utrymningsförlopp

Utrymningsförloppet delas in i detektionstid, besluts- och reaktionstid samt förflyttningstid.

5.3.1 Detektionstid

Vid branden i det intilliggande utrymmet (typbrand 2) upptäcks inte branden förrän den nått övertändning. Antingen kan det bero på att automatisk detektion inte sker i detta utrymme eller så kan larmet vara trasigt. Om automatiskt brandlarm finns installerat i intilliggande lokaler kommer sannolikheten för att typbrand 2 ska uppstå att minska väsentligt, eftersom personal eller besökare har möjlighet att släcka branden innan den når övertändning.

När både brand- och utrymningslarmet i samlingslokalen fungerar bedöms detektionstiden vara 10 sekunder eftersom branden är kraftig redan när den startar och utvecklar mycket brandgas. När rökdetektorer inte fungerar sker detektion genom att någon öppnar dörren till det intilliggande utrymmet eller genom att branden brinner igenom dörren. Om utrymningslarmet fungerar antas detektionstiden till 45 sekunder och sker ingen manuell aktivering antas den bli 60 sekunder. Detektion sker snabbt när brandgaser strömmar in från den sida där prästen alternativt föreläsaren finns. Faran är då synlig och uppenbar vilket gör att personer reagerar snabbt och påbörjar utrymningen omgående.

5.3.2 Besluts- och reaktionstid

Förutsättningarna för utrymning liknar en biograf eller en föreläsningssal, där alla besökare har uppmärksamheten riktad åt samma håll och personerna påverkas av varandras beteende. Det är en miljö där folk i regel undviker att utmärka sig i rädsla att göra bort sig vid larmsignal, men utrymningssituationen präglas av att personerna blir varse faran vilket motverkar ett passivt beteende. Alternativ verksamhet i denna typ av byggnad skulle kunna vara t.ex. konsert eller teater, men förutsättningarna för reaktionstiden bedöms vara liknande. I den här typen av lokal blir reaktionstiden kort, ca 1 min, oavsett larmtyp och oavsett om deltagarna ser branden eller ej (Brandskyddshandboken, 2002; Frantzich, 2001). Om inte föreläsaren alternativt prästen agerar korrekt kan utrymningstiden bli något längre.

5.3.3 Förflyttningstid

I analysen förutsätts att projektören av kostnadsskäl vill begränsa antalet extra utgångar, utöver de som normalt används. Därför föredras ett fåtal breda utrymningsvägar framför flera smala. För enkelhetens skull antas alla utrymningsvägar vara lika breda vilket enligt förenklad

dimensionering innebär att för 1000 personer krävs $1000 / 150 = 6.66$ meters total utrymningsbredd, alltså 3 dörrar à 2.2 meter.

Utrymningsförloppet innebär köbildning framför alla utrymningsvägarna inne i samlingslokalen, eftersom personerna börjar röra på sig nästan samtidigt. Förloppet är okomplicerat och kan beräknas med enkla handräkningsekvationer. Vid brand i samlingslokalen kan en utrymningsväg att komma att blockeras av branden, se avsnitt 5.1.1. Vid brand i något intilliggande utrymme förutsätts branden blockera en utrymningsväg, eftersom den intilliggande lokalen finns i anslutning till eller i närheten av en sådan. Placeringen av utrymningsvägarna är viktig. När det endast finns två utrymningsvägar placeras de ofta långt ifrån varandra för att klara av kraven på maximala gångavstånd. En brand kan därmed inte blockera två utgångar samtidigt.

Den dimensionerande persontätheten sätts till $1 \text{ person} / \text{m}^2$, vilket baseras på empiriska mätningar av antalet sittplatser och ståplatser i Allhelgonakyrkan i Lund. I andra typer av samlingslokaler kan persontätheten var högre (Brandskyddshandboken, 2002).

Tiden för personer att utrymma genom de olika utrymningsvägarna beräknas enligt ekvationerna (14) och (15):

$$t_{\text{entré}} = \frac{E \cdot N}{f_{\text{känd}} \cdot w} \quad (14)$$

$$t_{\text{övriga}} = \frac{(1-E) \cdot N}{f_{\text{okänd}} \cdot w \cdot U} \quad \text{givet att } U \geq 1 \quad (15)$$

$t_{\text{entré}} =$	förflyttningstiden för den sista personen som utrymmer genom huvudentrén [s]
$t_{\text{övriga}} =$	förflyttningstiden för den sista personen som utrymmer genom någon av de övriga utgångarna [s]
$E =$	andelen som utrymmer genom entrén
$N =$	antal personer i lokalen
$f_{\text{känd}} =$	flöde genom utrymningsväg som är känd [p/(s·m)]
$f_{\text{okänd}} =$	flöde genom utrymningsväg som är okänd, d.v.s. som inte används som normal kommunikationsväg [p/(s·m)]
$U =$	antalet utrymningsvägar som används exklusive entrén
$w =$	utrymningsvägarnas bredd [m]

Följande antaganden har gjorts i samband med beräkning av förflyttningstiden:

- Personerna som inte utrymmer genom entrén fördelar sig jämt mellan övriga tillgängliga utrymningsvägar.
- Placering av dörrar påverkar inte utrymningsförloppet i lokalen.

5.4 Beräkning av konsekvens

Även i relativt stora lokaler uppkommer en två-zonsbildning vid en kraftigare brand vilket gör att brandgaslagrets höjd kan vara en god indikator på när både toxicitet, sikt och temperatur når kritiska nivåer. I Bilaga C att två-zonsmodellen ger en rimlig bedömning av förhållanden i lokalen för de aktuella effektutvecklingarna. En genomgång av olika definitioner av kritiska förhållanden har gjorts och brandgaslagrets höjd har funnits mest lämpligt för det aktuella fallet. Den kritiska nivån beräknas enligt ekvation (16) (Boverket, 2002).

$$h_{krit} = 1.6 + 0.1 \cdot h \quad (16)$$

h_{krit} = kritisk höjd för brandgaslagret [m]
 h = takhöjden i lokalen [m]

Olika höjder som utgör kritiska förhållanden beroende på hur hög byggnaden är. Det innebär också att både brandförloppet och kritisk höjd kommer att variera inom en klass av byggnader. I Bilaga E presenteras hur enkla analytiska uttryck tas fram för att beräkna tid till kritisk förhållanden som funktion av area och höjd.

Eftersom en två-zonsmodell används kommer kritiska förhållanden att uppstå samtidigt i lokalen. Utrymningstiderna kommer att skilja eftersom olika många personer väljer att utrymma genom entrén och de övriga utrymningsvägarna. Konsekvensen för respektive scenario i beräknas som summan av konsekvensen vid entrén och övriga utgångar enligt ekvation (17) - (19).

$$C_i = C_{entré} + C_{övriga} \quad (17)$$

$$C_{entré} = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{om } \Delta t_{entré} > 0 \quad \text{(när alla hinner ut)} \\ -\Delta t_{entré} \cdot f_{känd} \cdot w & \text{om } -\frac{N_E}{f_{känd} \cdot w} < \Delta t_{entré} < 0 \quad \text{(när några hinner ut)} \\ N_E & \text{om } N_E < \Delta t_{entré} \cdot f_{känd} \cdot w \quad \text{(när ingen hinner ut)} \end{array} \right\} \quad (18)$$

$$C_{övriga} = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{om } \Delta t_{övriga} > 0 \quad \text{(när alla hinner ut)} \\ -\Delta t_{övriga} \cdot f_{okänd} \cdot w \cdot U & \text{om } -\frac{N_{OE}}{f_{okänd} \cdot w \cdot U} < \Delta t_{övriga} < 0 \quad \text{(när några hinner ut)} \\ N_{OE} & \text{om } N_{OE} < \Delta t_{övriga} \cdot f_{okänd} \cdot w \cdot U \quad \text{(när ingen hinner ut)} \end{array} \right\} \quad (19)$$

$c_i =$	konsekvensen för scenario i , d.v.s. antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden
$c_{entré} =$	konsekvensen vid entrén för scenario i , d.v.s. antalet påverkade av kritiska förhållanden
$c_{övriga} =$	konsekvensen vid övriga utrymningsvägar för scenario i , d.v.s. antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden
$\Delta t_{entré} =$	tidsmarginalen för personerna som utrymmer genom entrén [s]
$\Delta t_{övriga} =$	tidsmarginalen för de som utrymmer genom övriga utrymningsvägar [s]
$f_{känd} =$	personflödet genom en känd utgång [p/(s·m)]
$f_{okänd} =$	personflödet genom en okänd utgång [p/(s·m)]
$w =$	utrymningsvägarnas bredd [m]
$U =$	antalet utrymningsvägar som används exklusive entrén
$N_E =$	antalet personer som utrymmer via huvudentrén
$N_{OE} =$	antalet personer som utrymmer genom andra utgångar

6 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen studeras vilken effekt en variation av indata har på resultaten från riskanalysmodellen för typbrand 2. Utdata som studeras är olika riskmått, som kan användas för att mäta risknivån för personer i samlingslokalen. Slutsatserna från känslighetsanalysen används som underlag till den efterföljande osäkerhetsanalysen.

6.1 Variationsintervall

I känslighetsanalysen används indata från typbyggnaden som referensvärden, se kapitel 5. En variabls referensvärde betecknas med V_{TB} och varierar i fyra steg (V1 – V4). Variationen sker enligt följande system: $V1 = 25\% \cdot V_{TB}$, $V2 = 75\% \cdot V_{TB}$, $V3 = 125\% \cdot V_{TB}$ och $V4 = 175\% \cdot V_{TB}$. Värdena för typbyggnaden är antingen hämtade från Allhelgonakyrkan, handböcker eller framtagna genom ingenjörsmässiga bedömningar. För vissa variabler kan ett något modifierat variationsintervall vara nödvändigt av praktiska skäl, t.ex. reaktionstid och takhöjd.

I Tabell 6 redovisas variablerna och deras referensvärden, variationsintervallen samt ett index för att beteckna varje variabel tillsammans med en kort förklaring. Variablerna ändrades en i taget och för varje ändring beräknades de olika riskmåten. Totalt varierar 25 variabler vilket innebär 125 beräkningar med riskanalysmodellen. Utdata från varje simulering består av 6 olika diagram där respektive riskmåts variation kan studeras till följd av förändringar av den aktuella indatavariabeln. Resultaten presenteras i Bilaga F och en sammanställning presenteras i följande avsnitt tillsammans med slutsatser från känslighetsanalysen.

Tabell 6. Variabler som ingår i känslighetsanalysen.

Index	Beskrivning	Variabel	V1	V2	V _{TB}	V3	V4	Kommentar
2_1	Effektutveckling för övertänd brand	Q [MW]	2.5	7.5	10	12.5	17.5	Ingen beroende variabel, hänsyn tagen till ekvivalenskvot vid brandmodellering
2_2	Höjd i rum 2	h_{rum2} [m]	3	4	6	8	10	Ingen inverkan på t_D eller t_R
2_3	Arean i rum 2, designeffekter enligt FD	A_{rum2} [m ²] N [pers] w_{2-3} [m]	250 250 0.9 ^{2st}	750 750 1.7 ^{3st}	1000 1000 2.2 ^{3st}	1250 1250 2.1 ^{4st}	1750 1750 2.9 ^{4st}	Konstant persontäthet (1 pers / m ²). Designeffekter enligt förenklad dimensionering, N , w_{2-3}
2_4	Arean i rum 2, utan designeffekter	A [m ²]	250	750	1000	1250	1750	Konstant personantal & dörrbredd. Ingen designeffekt
2_5	Bredd utrymningsvägar, utan designeffekt	w_{2-3} [m]	0.9	1.65	2.2	2.75	3.85	Påverkar utrymning, ingen design effekt
2_6	Bredd utrymningsvägar, designeffekter enligt FD	w_{2-3} [m] N [pers]	0.9 ^{3st} 405	1.65 ^{3st} 742	2.2 ^{3st} 1000	2.75 ^{4st} 1650	3.85 ^{4st} 2310	Påverkar utrymning och personantal. 3 dörrar har förutsatts. 1.2m / dörr gräns för samlingslokal.
2_7	Bredd på öppningen till rum1, ingen påverkan på ekvivalenskvoten	w_{1-2} [m]	0.75	0.9	1.2	2.0	2.4	Påverkar ej utrymning, ingen designeffekt
2_8	Detektionstid	t_d [s]	-30	-15	10	30	60	Brandgaser når samlingslokalen vid $t=0$
2_9	Manuell aktivering av utrymningslarmet	$t_{d\ man}$ [s]	0	15	45	60	90	Påverkar ej detektionstiden när larm fungerar
2_10	Reaktionstid	t_R [s]	0	30	60	90	120	10 s skillnad om larm inte fungerar.
2_11	Faktiskt personantal	N	250	750	1000	1250	1750	Varierande täthet, konstanta öppningar d.v.s. ingen designeffekt. ρ_{dim} konstant.
2_12	Andelen som väljer entrén som väg in	E	0.175	0.525	0.7	0.875	1.0	
2_13	Personflöde genom känd utrymningsväg	$f_{känd}$	1.	1.31	1.5	1.875	2.625	Per 1.2m öppning och sek
2_14	Personflöde genom okänd utrymningsväg	$f_{okänd}$	0.25	0.75	1	1.25	1.75	Per 1.2m öppning och sek
2_15	Tillförlitlighet utrymningslarmen	$P_{f\ utr\ larm}$	1	3	5	10	15	Betingat fungerande RD
2_16	Tillförlitlighet automatiskt detektionssystem	$P_{f\ RD}$	1	5	3	10	15	
2_17	Tillförlitlighet manuell aktivering utr. larm	$P_{f\ man\ akt}$	12.5	37.5	50	62.5	87.5	
2_18	Tillförlitlighet en utgång blockerad	$P_{f\ utgång}$	2	10	5	15	20	
2_19	Bränsletyp	Bränsletyp	-	trä	Mix	PS	-	
2_20	Effektutveckling, välventilerade förhållanden	Q_{wv} [MW]	2.5	7.5	10	12.5	17.5	Välventilerat, d.v.s. ingen hänsyn till ϕ
2_21	Val av kritiska förhållanden		OD2 _{UL}	OD2 _{tot}	Layer 2	OD3 _{UL}	OD3 _{tot}	Referensbyggnaden. Se förklaring *
2_22	Val av kritiska förhållanden, välventilerat*		OD2 _{UL}	OD2 _{tot}	Layer 2	OD3 _{UL}	OD3 _{tot}	Välventilerade förhållanden. Se förklaring *
2_23	Förbränningsvärme	Δh_c [MW/kg]	10	15	13	20	30	
2_24	Strålningsandel av Q effektutvecklingen	ϵ_r	0.25	0.5	0.77	0.85	0.95	
2_25	Dimensionerande persontäthet	ρ_{dim} [pers/m ²]	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	

* OD = optisk densitet, 2 = rum 2, 3 = rum 3, UL = övre lagret (brandgaserna), tot = hela rummet, layer = brandgaslagret

6.2 Sammanställning av känslighetsanalysen

Varje variabel betecknas med ett index 2_1 – 2_25. En kortfattad förklaring av indexen finns bredvid figurerna och en fullständig index- och variabelförteckning finns i Tabell 6. Variablerna kan grupperas enligt de olika typer av osäkerheter som de representerar. Dessa har tidigare redovisats i avsnitt 4.5 och sammanfattas nedan:

- Grupp 1, där osäkerheten är av typ A (slumpmässig variation, naturlig osäkerhet).
- Grupp 1, där osäkerheten är av typ B (slumpmässig variation, kunskapsosäkerhet).
- Variabler i grupp 2 (osäkerhet kopplat till en klass av byggnader).
- Variabler som representerar tillförlitlighet (funktion hos tekniska system).
- Antaganden vid beräkningar (t.ex. typ av bränsle, val av kritiska förhållanden).

I känslighetsanalysen studeras följande riskmått:

1. Konsekvensen då allting fungerar.
2. Största konsekvensen då ett skyddssystem går sönder (single source failure).
3. Konsekvensen vid värsta scenariot (worst-case scenario).
4. Individrisken (den genomsnittliga i byggnaden).
5. Individrisken för den mest utsatta personen i byggnaden.
6. Medelrisken.

”Ingen designeffekt” i Tabell 6 innebär att ingen hänsyn tagits till hur andra variabler borde påverkats enligt förenklad dimensionering när den aktuella variabeln ändras. Det innebär t.ex. för variabel 2_11 att dörrbredden inte ändras när personantalet varieras. Fler personer än vad som dimensionerats för kan vistas i lokalen och det är av intresse att undersöka hur det påverkar säkerhetsnivån. I analysen undersöks både fallet då följd effekter beaktas och inte beaktas, se t.ex. variablerna 2_3 och 2_4. Då kan vikten av att de dimensionerande förutsättningarna och dimensionerande värdena på variablerna vid förenklad dimensionering efterlevs studeras.

Detektionstiden påverkas av vilka tekniska system som fungerar. I känslighetsanalysen antas en konstant fördröjningen med 45 sekunder mellan automatisk detektion och manuell detektion. Fördröjningen återspeglar tiden det tar för en person att detektera brandgaserna, bestämma sig för att aktivera utrymningslarmet, hitta larmknappen och starta larmet. Fördröjningen då larmet inte fungerar antas bara vara något längre, ytterligare 15 sekunder, eftersom personen förväntas påbörja utrymning direkt efter att denna försökt aktivera larmet. Det innebär att detektionstiderna beräknas enligt ekvation (20) och (21).

$$t_{d\ man} = t_d + 45 \quad (20)$$

$$t_{d\ ej\ larm} = t_{d\ man} + 15 \quad (21)$$

t_d = detektionstid vid automatisk upptäckt av branden (rökdetektor) [s]
 $t_{d\ man}$ = detektionstid vid manuell upptäckt av branden (larmtryckknapp) [s]
 $t_{d\ ej\ larm}$ = detektionstid när larmet ej fungerar (första personen börjar utrymma) [s]

Takhöjden förväntas inte ha någon avgörande betydelse för detektionstiden. Även vid höga takhöjder sker detektion snabbt genom att personer i lokalen uppmärksammar branden i ett tidigt skede.

Resultaten från känslighetsanalysen presenteras i diagram som visar variationsintervallen för ett riskmått när alla indatavariablerna varieras en i taget. Ett intervall skapas genom att ta det högsta och lägsta värdet av ett riskmått från de fem värdena som beräknas när en variabel studeras i känslighetsanalysen. Det fullständiga underlaget från känslighetsanalysen redovisas i Bilaga F, där riskmått som funktion av respektive variabel presenteras i diagram. Riskmättet ”riskprofil” redovisas inte p.g.a. utrymmesskäl och eftersom detta riskmått inte används i osäkerhetsanalysen.

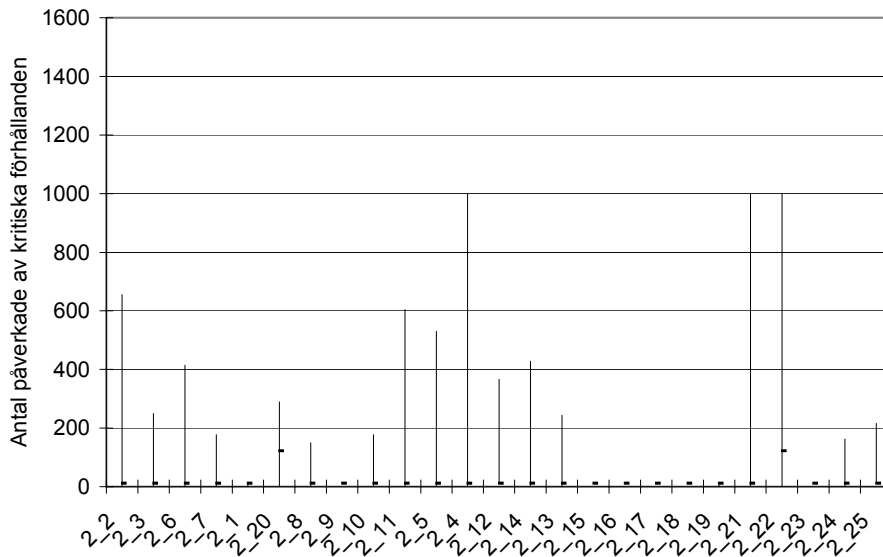
I variationsintervallen anges det värde på riskmättet som typbyggnaden har med en svart markering, d.v.s. då alla variabler har sina referensvärden. Anledningen till att detta värde skiljer sig för variablerna 2_20 och 2_22 är att brandförloppet då antas ske under välventilerade förhållanden. Brandförloppet blir olika när det är välventilerade jämfört med underventilerade förhållanden, vilket gör att resultatet för typbyggnaden blir olika när samma referensvärden används som indata.

6.2.1 Analys av riskmått

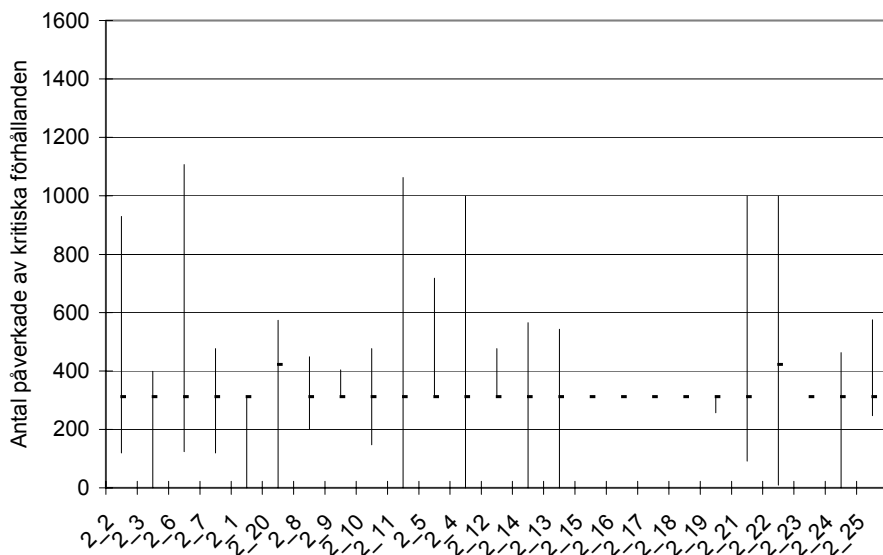
I följande avsnitt redovisas resultatet av känslighetsanalysen, d.v.s. hur de olika riskmått påverkas när indata varieras, se Figur 14 - Figur 19. För att bedöma riskmåttens lämplighet att mäta hur den totala risken ändras, utförs en relativ analys av medelrisken med respektive riskmått. I beräkningen av medelrisken utnyttjas information om sannolikhet och konsekvens för alla scenarierna som finns med i händelsetrådet, medan flera av de övriga riskmått enbart representerar delar av den totala risken, t.ex. ett enstaka scenario.

Genom att studera diagrammen går det att identifiera hur väl riskmått som baseras på ett enstaka scenario avspeglar variationen i ett riskmått som beräknats med hjälp av information från alla scenarier, d.v.s. medelrisken.

Dessutom studeras vilka variabler som har stor respektive liten inverkan på riskmått. De variabler som påverkar risken mest prioriteras vid val av variabler som ska ingå i osäkerhetsanalysen.



Figur 14. Variationsintervallen för riskmättet "konsekvensen då allting fungerar", $C_{allt\ fungerar}$.



Figur 15. Variationsintervallen för riskmättet "största konsekvensen vid ett felfungerande system", $C_{MAX\ single\ source}$.

VARIABLER

Grupp 1, typ A

- 2_1 Q
- 2_20 $Q_{w.v.}$
- 2_8 t_d
- 2_9 $t_{d\ man}$
- 2_10 t_r
- 2_11 N
- 2_5 w_{2-3}
- 2_4 A

Grupp 1, typ B

- 2_12 E
- 2_14 $f_{okänd}$
- 2_13 $f_{känd}$

Grupp 2

- 2_2 h
- 2_3 A, N, w_{2-3}
- 2_6 N, w_{2-3}
- 2_7 w_{1-2}

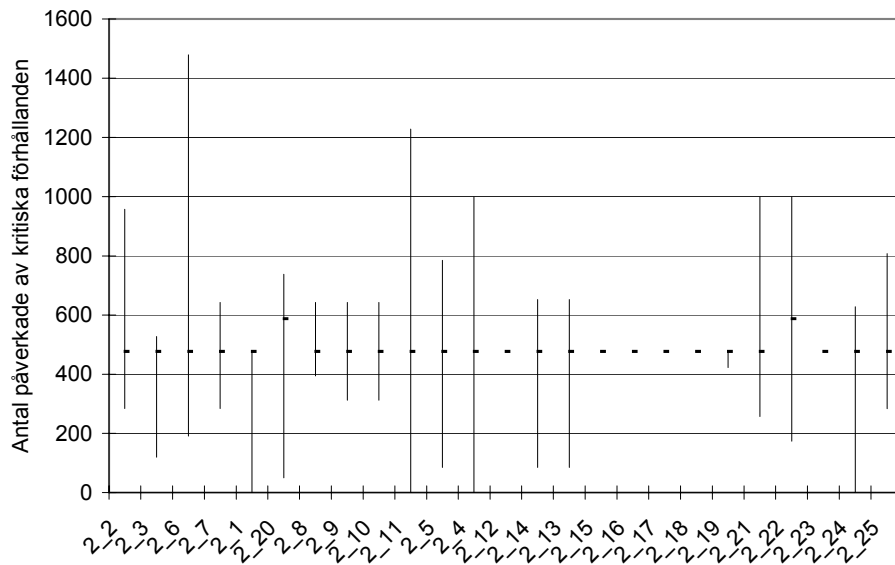
Tillförlitlighet

- 2_15 $P_{f_utrlarm}$
- 2_16 $P_{f_RD/Blarm}$
- 2_17 P_{f_manakt}
- 2_18 $P_{f_utgång}$

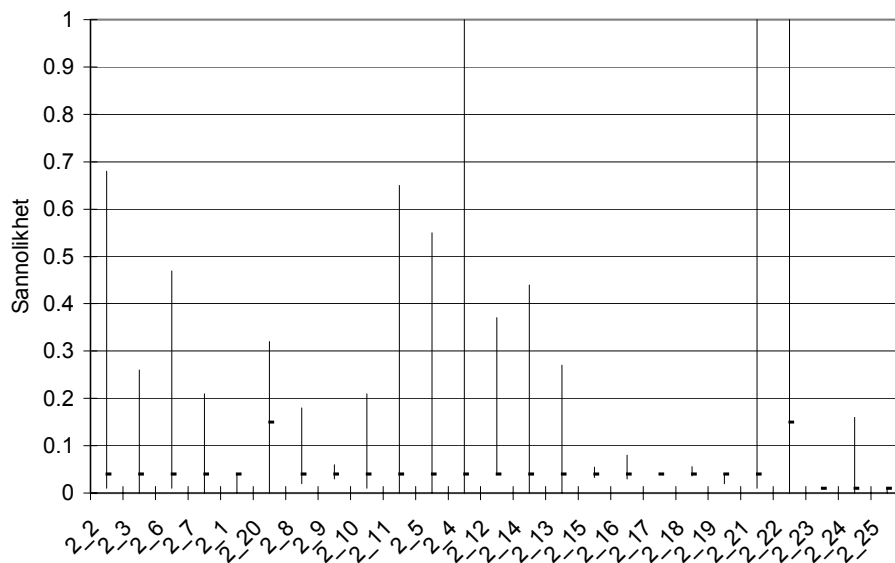
Antaganden

- 2_19 Bränsletyp
- 2_21 Kritiska förhållanden.
- 2_22 Kritiska förhållanden (wv)
- 2_23 Δh_c
- 2_24 ϵ_r
- 2_25 ρ_{dim}

Variabelförteckning finns i avsnitt 6.1.



Figur 16. Variationsintervallen för riskmättet "värsta fallet", $C_{\text{worst case}}$.



Figur 17. Variationsintervallen för riskmättet "individrisk", P_{individ} .

VARIABLER

Grupp 1, typ A

- 2_1 Q
- 2_20 $Q_{w.v.}$
- 2_8 t_d
- 2_9 $t_{d \text{ man}}$
- 2_10 t_r
- 2_11 N
- 2_5 w_{2-3}
- 2_4 A

Grupp 1, typ B

- 2_12 E
- 2_14 $f_{\text{okänd}}$
- 2_13 $f_{\text{känd}}$

Grupp 2

- 2_2 h
- 2_3 A, N, w_{2-3}
- 2_6 N, w_{2-3}
- 2_7 w_{1-2}

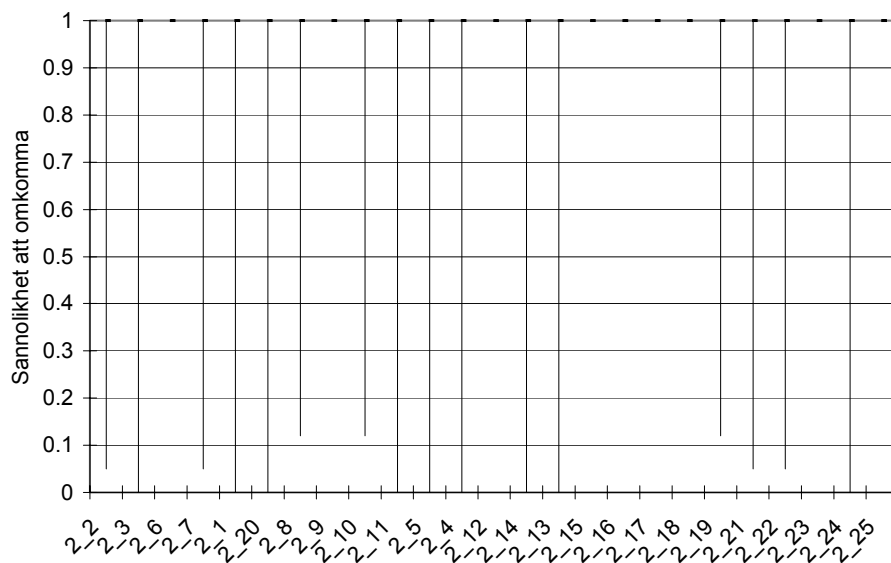
Tillförlitlighet

- 2_15 $P_{f_utrlarm}$
- 2_16 $P_{f_RD/Blarm}$
- 2_17 P_{f_manakt}
- 2_18 $P_{f_utgång}$

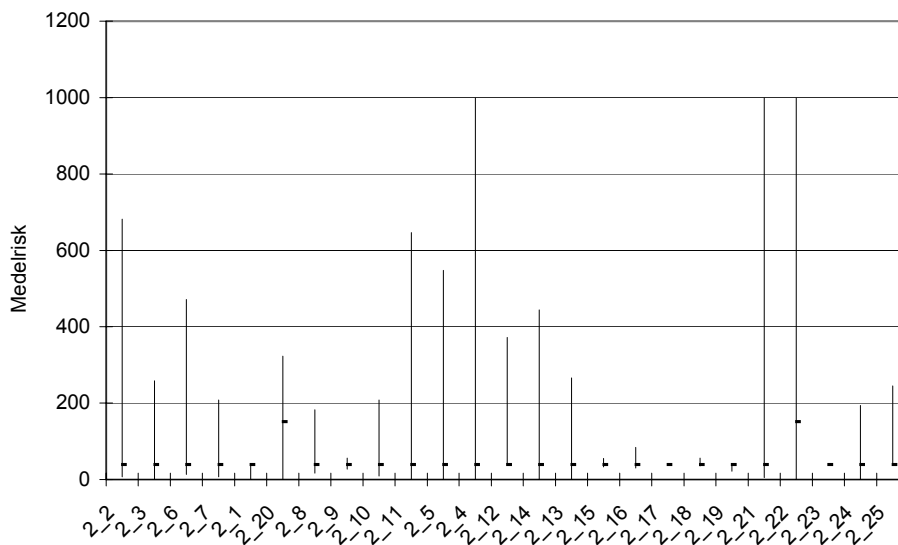
Antaganden

- 2_19 Bränsletyp
- 2_21 Kritiska förhållanden.
- 2_22 Kritiska förhållanden (wv)
- 2_23 Δh_c
- 2_24 ε_r
- 2_25 ρ_{dim}

Variabelförteckning finns i avsnitt 6.1.



Figur 18. Variationsintervallen för riskmättet "Individrisken för den sämst belägna personen", $P_{sämst}$.



Figur 19. Variationsintervallen för riskmättet "Medelrisk", d.v.s. förväntat antal personer som påverkas av kritiska förhållanden per brand, R_{medel} .

VARIABLER

Grupp 1, typ A

2_1 Q
 2_20 $Q_{w.v.}$
 2_8 t_d
 2_9 $t_{d\ man}$
 2_10 t_r
 2_11 N
 2_5 w_{2-3}
 2_4 A

Grupp 1, typ B

2_12 E
 2_14 $f_{okänd}$
 2_13 $f_{känd}$

Grupp 2

2_2 h
 2_3 A, N, w_{2-3}
 2_6 N, w_{2-3}
 2_7 w_{1-2}

Tillförlitlighet

2_15 $P_{f_utrlarm}$
 2_16 $P_{f_RD/Blarm}$
 2_17 P_{f_manakt}
 2_18 $P_{f_utgång}$

Antaganden

2_19 Bränsletyp
 2_21 Kritiska förhållanden.
 2_22 Kritiska förhållanden (wv)
 2_23 Δh_c
 2_24 ε_r
 2_25 ρ_{dim}

Variabelförteckning finns i avsnitt 6.1.

Flera av variablerna har stor påverkan på risken. Vid analytisk dimensionering kommer en eller flera av de variabler som studerats i känslighetsanalysen att påverkas eller ändras jämfört med en lösning som tagits fram med förenklad dimensionering. Det är svårt att se någon tydlig trend mellan hur de scenariobaserade riskmåten varierar, både inbördes och i förhållande till medelrisken i känslighetsanalysen. Misstanken att det är olämpligt att beskriva den totala risken med hjälp av ett enstaka scenario stärks därför.

En slutsats från känslighetsanalysen är att det är nödvändigt att använda ett mer heltäckande riskmått än scenarioanalysen för att beskriva och värdera hur risken påverkas. Riskmålet måste representera alla de scenarier som påverkas av den förändring av brandskyddet som analytisk dimensionering medför. Om konsekvensen i ett enstaka scenario ska användas för att representera den totala risken är det nödvändigt att tydligt redovisa att förändringen av brandskyddet enbart påverkar det scenariot som studeras.

Känslighetsanalysen visar att flera av variablerna påverkar mer än ett scenario i händelse-trädet. Valet står därför mellan att använda medelrisk eller riskprofilen för att analysera hur risknivån varierar till följd av osäkerheter i indata.

Riskprofilen är ett riskmått som tidigare använts för att presentera resultatet från brandrisk-analyser (Jönsson et al., 2000; Boverket, 1997). En fördel med riskprofilen framför medelrisken är att den redovisar spridningen i konsekvens för de scenarier som studeras. Samhället värderar ofta stora konsekvenser (katastrofer) oproportionerligt mycket högre än vad medelrisken visar. Aversion mot stora konsekvenser kan uttryckas i en riskprofil genom lutningen på den kurva som utgör acceptanskriteriet. Samtidigt finns det flera problem att använda riskprofiler vid värdering av risk (Ewans et al., 1997).

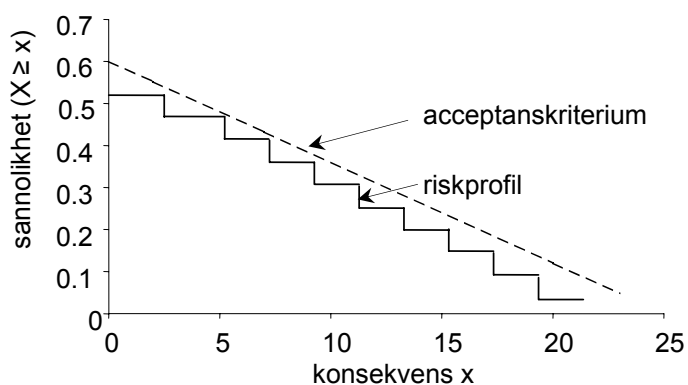
Ett exempel är vad riskprofilen ska relateras till vid dimensionering för att utgöra ett användbart acceptanskriterium. Representerar den acceptabel risk givet brand för en hel byggnad? I så fall förbises att det brinner olika ofta i olika typer av byggnader. Dessutom påverkas sannolikheten för brands uppkomst av hur stor byggnaden är (Rutstein, 1975). Att i stället bestämma en acceptabel riskprofil per brandcell innebär också problem eftersom det kan få till följd att risken för en byggnad tillåts vara högre om den delas in i flera brandceller.

Om en acceptabel riskprofil bestäms för en brandcell med en viss maximal area kan en större area accepteras vid alternativ utformning om risknivån bibehålls genom att en eller flera risk-reducerande åtgärd vidtas. Problemet med detta tillvägagångssätt är att arearestriktioner har tagits bort i förenklad dimensionering och då blir det förvirrande att införa det för analytisk dimensionering.

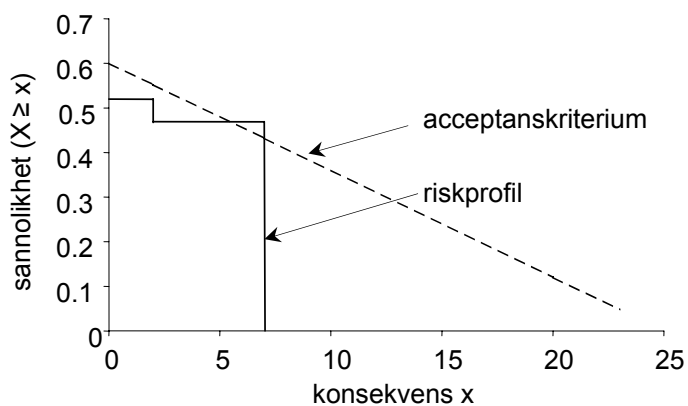
Kan riskprofilen relateras till enstaka scenarier? Att använda enstaka scenarier för att representera den totala risken är problematiskt, vilket utreds ytterligare i avsnitt 9.4.3. Dessutom går det alltid att göra en finare scenarioindelning och på så sätt minska sannolikheten, och därmed även riskbidraget, från ett enskilt scenario.

Ett alternativ kan vara att ta hänsyn till brandfrekvensen i riskprofilen. Nackdelen är att det saknas kunskap om brandfrekvens för olika byggnadstyper och hur den påverkas av olika variabler som area, drift & underhållsnivå m.m. Omfattningen av analysen riskerar också att bli orimligt stor om ambitionen är att inkludera alla potentiella scenarier i hela byggnaden.

Ett annat metodproblem med att använda riskprofilen som acceptanskriterium är att i vissa fall kan den ge en tveksam rangordning av olika lösningar. Ett enkelt exempel presenteras i Figur 20 och Figur 21. Genom att använda riskprofilen som acceptanskriterium kommer lösningen med riskprofilen i Figur 20 att föredras framför den som redovisas i Figur 21, trots att den första lösningen har både en högre medelrisk och större maximal konsekvens.



Figur 20. Ett exempel på en lösning som är acceptabel.



Figur 21. Ett exempel på en lösning som inte är acceptabel.

Även om medelrisken inte uttryckligen tar hänsyn till hur konsekvenserna är fördelade finns ändå möjlighet att ta hänsyn till att stora konsekvenser värderas som oproportionerligt mycket allvarigare än små. Ett sätt är att ”straffa” scenarier med hög konsekvens är att använda s.k. nyttofunktioner. Det är ofta svårt att i kvantitativa termer ange hur mycket tuffare stora konsekvenser ska viktas än små, men det finns några olika tillvägagångssätt som kan användas för att utreda detta. Samhällets riskattityd kan tas fram genom att analysera risken i lösningar som dimensionerats med förenklad dimensionering. En annan metod är att försöka mäta olika aktörers preferenser, t.ex. hos allmänheten, räddningstjänsten, byggnadsnämnden, konsulter och andra beslutsfattare. Detta är förknippat med stora osäkerheter, men det är ett vedertaget sätt inom andra områden. En kartläggning av detta slag har inte gjorts tidigare och kan vara av intresse att studera. Den riskanalysmetodik som redovisas i denna rapport är förberedd för att studera hur risknivåerna påverkas om nytte teorier används för att värdera konsekvenserna. I dagsläget saknas tillräcklig information för att utföra i en sådan analys. Antagandet har därför gjorts att samhället är riskneutralt i beräkningarna.

En fördel med medelrisk framför riskprofilen är att detta riskmått är enklare att kommunicera och förstå. Begreppet är vanligt i andra sammanhang, även om inte risknivåerna är direkt jämförbara mellan olika områden. En annan fördel med medelrisken är att den är enklare att beräkna och analysera än riskprofilen. Riskprofilen innehåller mer information och det finns etablerad metodik för att utföra osäkerhetsanalyser av riskprofiler (Frantzich, 1998). Tyvärr har resultaten visat sig vara svårtolkade och omständiga att hantera, vilket starkt begränsar användningen.

Medelrisken och riskprofilerna visar inte hur risken är fördelas bland personerna i en byggnad. Om en enskild individ exponeras för en väldigt hög risk, t.ex. i en viss del av en byggnad, så framgår inte det om risken för övriga personer är låg. Samhällsrisk och individrisk bör därför användas som komplement, eftersom de representerar två olika perspektiv. Vid värdering av brandrisk i samband med verifiering har det hittills skett i liten utsträckning, men mot bakgrund av de problem som uppmärksammats i samband med verifiering finns anledning att introducera dessa riskmått vid verifiering.

Positiv och negativ kritik kan riktas mot både medelrisken och riskprofilen. Inget av dessa riskmått är problemfria. I osäkerhetsanalysen kommer medelrisk och två typer av individrisk att studeras.

6.2.2 Analys av variabler

Information från känslighetsanalysen används för att prioritera vilka variabler som ska ingå i den fortsatta osäkerhetsanalysen. I Figur 18 och Figur 19 redovisas hur riskmått $P_{\text{sämst}}$ och R_{medel} varierar med variablerna. Riskmått har definierats i Ekvation (7) och

(8). De variabler som har liten effekt på riskmåttets variation är följande:

- $Q(2_1)$
- $P_{f\text{utrlarm}}(2_15)$
- $P_{fRD}(2_16)$
- $P_{f\text{manakt}}(2_17)$
- $P_{f\text{utg}}(2_18)$
- $w_{1-2}(2_7)$

För att antalet variabler i osäkerhetsanalysen ska bli hanterbart kommer inte osäkerheter i dessa variabler att studeras.

Två variabler som studerats i känslighetsanalysen, men som inte tas med i osäkerhetsanalysen trots att de visade sig ha stor påverkan på säkerheten är:

- $w_{2-3}(2_5)$ och
- $\rho_{dim}(2_25)$.

Orsaken till att w_{2-3} inte tas med är att utrymningsdörrarnas bredd motsvarar den bredd som det dimensionerande personantalet ger upphov till enligt förenklad dimensionering. Att ta med variabeln i känslighetsanalysen ansågs vara befogat för att få en uppfattning om variabelns betydelse för säkerheten, men den är inte relevant att ta med när variationen i risknivå vid förenklad dimensionering ska undersökas.

Den dimensionerande persontätheten, ρ_{dim} , tas inte med eftersom den antas vara konstant för den typ av samlingslokal som studeras. I en utökad analys där även verksamhetstyperna varierar bör även den dimensionerande persontätheten studeras vidare. Även om den dimensionerande persontätheten är konstant så kan det faktiska antalet personer i lokalen variera (variabel N). Analysen visar tydligt att risken ökar när antalet personer överskrider det dimensionerande personantalet. En slutsats som kan dras efter att studerat dessa variabler är att det har stor betydelsen att en lokal verkligen dimensionerats för det ändamål som den används till.

I känslighetsanalysen studeras även effekten av vissa antaganden, t.ex. valet av kritiska förhållanden. Beroende på hur kritiska förhållanden definieras påverkas resultatet av riskberäkningarna mycket. Gränsvärdena för siktbarhet och brandgaslagrets höjd uppkommer inte vid samma tidpunkt, vilket innebär att olika antal personer kommer drabbas av kritiska förhållanden beroende på vilket av dessa som väljs.

Att definiera kritiska förhållanden som siktbarheten i brandgaslagret vid en tydlig tvåzonsbildning är inte lämpligt, eftersom siktbarheten i brandgaserna snabbt blir kritisk om dessa inte späds ut genom omblandning. Siktbarheten i brandgaslagret leder i sådana fall till kritiska förhållanden långt innan brandgaslagret hotar personerna som utrymmer och ger inte en rättvisande bild av hur personerna i lokalen påverkas. Om det däremot sker en omblandning av brandgaser och luft, t.ex. genom turbulens, är siktbarheten betydligt mer lämplig att mäta konsekvensen med. Känslighetsanalysen visar att det är viktigt att välja kritiska förhållanden som avspeglar förhållandena i lokalen. Valet av kritiska förhållanden kan ha mycket stor effekt på uppskattningen av risken. I den fortsatta analysen av typbyggnaden väljs uteslutande brandgaslagrets höjd som indikator på när kritiska förhållanden uppstår, vilket baseras på en analys av brandgasspridningen i lokalen med hjälp av fältmodellen FDS (McGrattan et al., 2002), se Bilaga C.

6.3 Kommentarer till resultaten

Analysen visar att det är stor inbördes skillnad mellan hur mycket de olika variablerna påverkar variationen hos riskmåten. För att avgöra om påverkan på ett riskmått är stor eller liten krävs att denna variation sätts i relation till hur mycket den totala risken förväntas variera. Totala riskbidraget beräknas som risken givet att en brand uppstår multiplicerat med brandfrekvensen. Av de variabler som studeras förväntas t.ex. arean påverka brandfrekvensen. Det verkar troligt att det börjar brinna oftare i en stor lokal än i en liten, om verksamheten är den samma. I denna rapport utförs ingen ingående analys av brandfrekvens, men ett snabbt överslag med hjälp av uppgifter från Brandskyddshandboken (2002) visar att brandfrekvensen varierar linjärt med arean för denna lokaltyp. Brandfrekvensen för en lokal på 2000 m² förväntas vara ungefär tio gånger högre än för en lokal på 200 m², vilket motsvarar det intervall som arean varierar inom i analysen. Skattningen av brandfrekvensen är mycket grov, men ger en uppfattning om storleksordningen på variationen. I Figur 19 framgår att för vissa parametrar varierar medelrisken med en faktor 50 jämfört med referensvärdet. Det ger en indikation på att variationen är av betydelse och inte försumbar i förhållande till osäkerheten i brandfrekvens. För att få en god bild av variationen i den totala risken är det nödvändigt att utföra en noggrannare studie om vilka faktorer förutom area som påverkar brandfrekvensen, t.ex. verksamhetstypen, åldern hos byggnaden och nivån på drift & underhåll.

7 Osäkerhetsanalys

Syfte med osäkerhetsanalysen är att studera hur risken varierar för en klass av byggnader. Osäkerhetsanalysen sker genom att de variablerna som bedömts ha störst inverkan på resultatet i känslighetsanalysen varieras samtidigt. Dels studeras hur osäkerheten i indata påverkar osäkerheten i utdata och dels hur risknivån varierar inom den aktuella byggnadstypen när förenklad dimensionering används. Analysen sker enligt nivå 3 (se avsnitt 2.2.3) där osäkerheter analyseras kvantitativt. Det sker genom en procedur där:

- värden från fördelningar som beskriver de osäkra variablerna slumpas fram,
- brandskyddet dimensioneras med utgångspunkt från variablerna,
- riskberäkningarna utförs och
- resultatet lagras och presenteras som en fördelning där variationen framgår.

7.1 Variabler

Mot bakgrund av resultaten från känslighetsanalysen studeras hur följande riskmått varierar till följd av osäkerheter i indata:

- Medelrisk,
- individrisk och
- individrisk för den mest utsatta individen.

Variabler som tas med i osäkerhetsanalysen och de fördelningar som representerar osäkerheten anges nedan:

Grupp 1 (slumpmässig variation)

γ (likformig 0.5 – 1.5)

Att personantalet i samlingslokaler varierar är ett faktum. Inom vilka gränser är emellertid mer osäkert. I vissa typer av lokaler, t.ex. i affärer, kan data med stor noggrannhet tas fram, medan för andra typer av samlingslokaler kan det krävas en grövre uppskattning. I detta fall antas variationen ske med $\pm 50\%$ av det dimensionerande antalet., d.v.s. $N = \gamma \cdot A \cdot \rho_{dim}$.

t_d (triangulär 0;0;20)

När det automatiska brandlarmet fungerar antas det startar direkt när brandgaser strömmar in i lokalen. Branden är fullt utvecklad och produktionen av brandgaser är stor. När branden startar i samlingslokalen antas också detektion ske omgående.

$t_{d\ man}$ (triangulär 30;30;60)

Även om automatisk detektion inte sker kommer personerna snabbt att bli varse branden. Det sker endast en marginell fördröjning som uppstår genom att en person måste förflytta sig till och aktivera en manuell larmknapp.

$t_{d\ ej\ larm}$ (triangulär 30;60;90)

Startar inte utrymningslarmet kommer personer i lokalen ändå snabbt att bli varse branden. När brandgaser strömmar in i lokalen är branden redan fullt utvecklad och både doft-, syn- och ljudeffekter förväntas vara tydliga. En liten fördröjning sker jämfört med om utrymningslarmet påkallar personernas uppmärksamhet. Dessutom kan en

	större variation förväntas eftersom personer inte samtidigt upptäcker branden.
$t_{r \text{ larm}}$ (likformig 50 – 70)	Även reaktionstiden förväntas vara låg. Personerna i byggnaden är nyktra och vakna och har uppmärksamheten riktad åt samma håll (Frantzich, 2001).
$t_{r \text{ ej larm}}$ (likformig 50 – 90)	Om inte larmet fungerar förväntas den personen som uppmärksamheten är riktad emot, t.ex. en artist, präst, föredragshållare eller liknande ge korrekt information. Även om information uteblir kommer hotet vara så påtagligt att folk förväntas agera snabbt på eget bevåg (Frantzich, 2001).
E (triangulär 0.60, 0.70, 0.80)	I ”Tid för utrymning” (Frantzich, 2001) anges att 70% utrymmer genom samma ingång som de kom in igenom. I en studie av utrymning av varuhus (Sandberg, 1996) finns liknande uppgifter. Även om lokaltyperna inte är identiska antas att ett liknande beteende är att vänta.
α (triangulär 0.001,0.01, 0.1)	Tillväxthastigheten hos effektutvecklingen beror av en rad olika parametrar och kan variera mycket inom de flesta lokaltyper. Mängden, typen och konfigurationen av brännbart material är några faktorer, men naturligtvis även var branden startar och om det finns släcksystem eller liknande i närheten. Osäkerheten kan därför betecknas som stor eller mycket stor hos denna variabel. Samtidigt har den från tidigare studier (Angerd, 1997) visat sig ha stor inverkan på resultatet. För att fördelningen ska täcka ett brett spektrum av möjliga fall men samtidigt inte vara överdrivet konservativ används Angerds studie (1997) som utgångspunkt för att bestämma ett rimligt variationsintervall. Tillväxthastigheten ha så stor inverkan på resultaten att den inkluderas, trots att den inte undersökts i känslighetsanalysen eftersom den inte varierar vid typbrand 2.
<u>Grupp 2 (variation till följd av designbeslut)</u>	
h (likformig 3.5 – 10)	Höjden i rum 2 varierar inom ett intervall som är vanligt förekommande för den aktuella typen av samlingslokal.
A (likformig 400 – 1750)	Arean i rum 2 varierar från mindre till mellanstor samlingslokal. Det är nödvändigt att begränsa sig inom vilken delmängd av byggnader som studien ska ske så att inte variationerna blir alltför stora. Detta variationsintervall tillsammans med höjden definierar för vilka lokalstorlekar resultaten är giltiga. Arean i rum 1 varierar inte.

Kunskap saknas om hur variablernas osäkerhet ändras inom klassen av byggnader, d.v.s. som funktion av A och h. Är exempelvis reaktionstiden lika i små och stora lokaler? Brist på kunskap och information innebär att det är svårt att bestämma fördelningar för att beskriva osäkerheten i variablerna med hög noggrannhet. I dessa fall används vanligtvis likformiga fördelningar som innebär att alla värden inom det intervall som variabeln kan tillåtas variera inom är lika sannolika. Det finns även variabler där det med lite efterforskning skulle gå att få bättre underlag. Genom att studera det faktiska byggnadsbeståndet genom fastighetsregister eller liknande skulle det t.ex. gå att bestämma fördelningarna för A och h med högre precision kanske t.o.m. en korrelation mellan dessa. Även om mer noggrant bestämda fördelningar går att ta fram för att reducera osäkerheten just för dessa variabler är det inte självklart att det är bättre. Eftersom variablerna i regel används i samband med dimensionering av framtida byggnader är det inte säkert att dagens fördelning nödvändigtvis avspeglar variablernas framtida variation. Med tanke på syftet med osäkerhetsanalysen är därför den ”potentiella variationen” mer lämplig att använda. Variationsintervallen för variablerna är i vissa fall grova skattningar, men det är viktigt att välja intervall som på ett trovärdigt sätt beskriver vilka värden variabeln kan anta. I denna studie har det skett genom kvalificerade bedömningar tillgängliga data, men en hel del antaganden har varit nödvändiga.

7.2 Tillvägagångssätt

Osäkerhetsanalysen av riskberäkningarna kan utföras med programvaran Precision Tree (Palisade, 1997) och @Risk (Palisade, 1996) om sannolikheterna och konsekvenserna kan beskrivas med analytiska uttryck. I Bilaga E presenteras hur analytiska uttryck för tid till kritiska förhållanden tas fram. De andra ekvationerna för att beräkna sannolikhet och konsekvens har tidigare presenterats i kapitel 5. Osäkerheten i en indatavariablerna beskrivs med stokastiska variabler. I osäkerhetsanalysen fortplantas dessa osäkerheter genom beräkningarna av de olika riskmåten med hjälp av MonteCarlo simulering. Det är en teknik som bygger på att värden dras slumpmässigt från fördelningarna som beskriver de stokastiska variablerna ett stort antal gånger. Efter varje dragning beräknas alla riskmåten baserat på de slumpade värdena på indatavariablerna. För varje osäkerhetsanalys sker 10 000 dragningar med datorprogrammet @Risk. Det stora antalet dragningar innebär att de konvergenskriterier för medelvärde och standardavvikelse som används i programmet uppfylls med god marginal. När alla dragningar utförts kan fördelningsfunktioner skattas för riskmåten.

7.3 Vad analyseras?

Resultaten från osäkerhetsanalysen för varje riskmått redovisas med tre olika parametrar. Den första är medelvärdet för riskmålet, som betecknas $E(R)$. Medelvärdet kan användas för att jämföra storleken på risknivån mellan olika scenarier. Många av de variabelkombinationer som slumpas fram i simuleringen innebär att ingen person påverkas av kritiska förhållanden och i dessa fall kommer riskmålet att anta värdet noll, t.ex. vid en liten brand i en stor lokal med få människor och högt i tak. Av praktiska skäl separeras dessa fall från de fall där riskmålet är större än noll. Sannolikheten för att riskmålet ska bli större än noll beräknas, $P(R>0)$, tillsammans med medelvärdet för resterande fall, t.ex. medelrisken givet att riskmålet blir större än noll, $R_{medel | R>0}$. Parametervärdena sammanställs i en tabell Dör respektive riskmått vid varje osäkerhetsanalys. $P(R>0)$ är även ett mått på hur stor sannolikheten är att någon, d.v.s. minst en person, ska påverkas av kritiska förhållanden givet brand.

Dessutom undersöks vilka variabler som har störst inverkan på de olika riskmåten genom en korrelationsanalys. En separat korrelationsanalys utförs för de fall då riskmåten är större än noll, för att ännu tydligare försöka hitta trender mellan olika variabler och de fall då risken är

hög. Inga entydiga kriterier finns för hur betydelsefulla variabler ska definieras. I korrelationsanalysen är avsikten att identifiera de variabler som har störst inverkan på osäkerheten i risknivån, så därför väljs något godtyckligt en nivå på korrelationskoefficienten till 0.1 för att utesluta variabler, som anses vara av mindre betydelse. Korrelationskoefficienten 1 betyder ett fullständigt beroende mellan variablerna och ett värde på 0 innebär att det inte finns något beroende.

Ett fullständigt underlag från korrelationsanalysen mellan variablerna och riskmåten presenteras i Bilaga G samt grafer som illustrerar korrelationen mellan risknivån och variablerna area, höjd och volym.

En diskret täthetsfunktion (Mass Density Function) presenteras som histogram för respektive riskmått för de fall då riskmättet är större än noll. I samband med osäkerhetsanalysen dras slutsatser om:

- storleken på risken,
- riskmåttens variation och
- de variabler som har störst inverkan på osäkerheten i riskmåten.

Osäkerhetsanalysen består av en analys av de båda typbränderna och dessutom studeras inverkan från de båda olika grupperna av variabler (se avsnitt 4.5) var för sig. Följande analyser utförs:

- Totala osäkerheten vid brand i samlingslokalen (typbrand 1).
- Totala osäkerheten vid brand i det intilliggande utrymmet (typbrand 2).
- Osäkerhet p.g.a. naturlig variation och kunskapsosäkerhet (grupp 1) för typbrand 2.
- Osäkerhet till följd av beslut vid dimensionering (grupp 2) för typbrand 2.

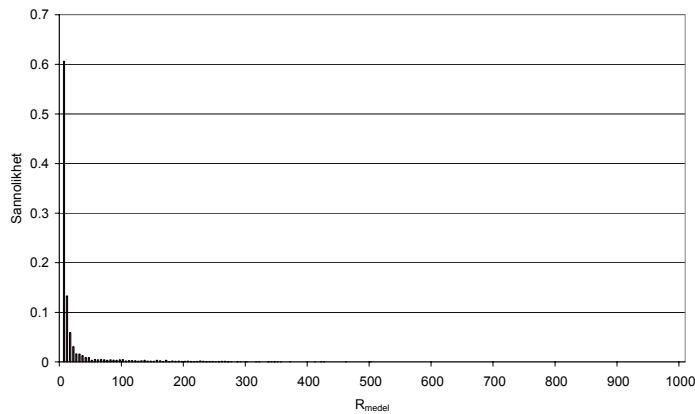
7.3.1 Totala osäkerheten vid brand i samlingslokalen (typbrand 1)

I Tabell 7 redovisas parametervärdena som tidigare beskrivits i avsnitt 7.3. I Figur 22 – Figur 24 följer täthetsfunktionerna för de tre riskmåten givet att riskmåten är större än noll. Eftersom både variabler i grupp 1 och grupp 2 varierar innebär det att variationen i risknivå avspeglar variationen i hela den grupp av samlingslokaler som indata representerar.

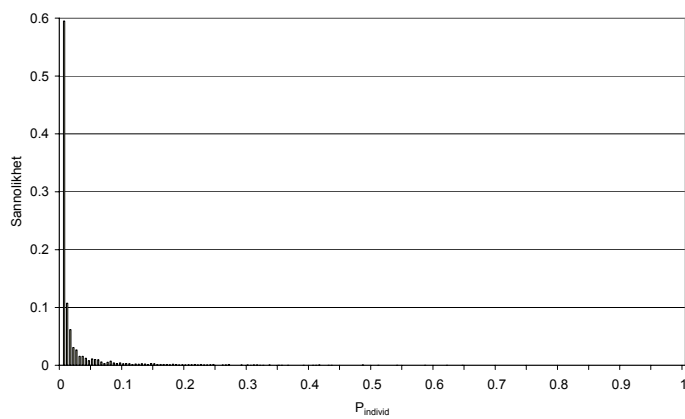
Tabell 7. Parametervärden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R .

Riskmått (R)	$E(R)$	$E(R) _{R>0}$	$P(R>0)$
R_{medel}	7.1	19	0.36
$P_{individ}$	0.008	0.021	0.36
$P_{sämst}$	0.058	0.16	0.36

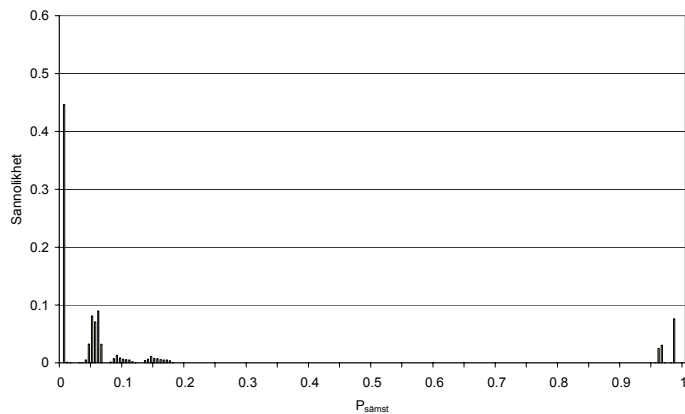
Figur 22 visar det förväntade antalet personer som påverkas av kritiska förhållanden för de fall då minst en person inte hinner ut. Täthetsfunktionen för medelrisken avtar exponentiellt, vilket innebär att det är mindre sannolikt med en hög risknivå. Det verkar rimligt med tanke på den brandskadestatistik som finns. För de allra flesta bränder i samlingslokaler är det väldigt få eller inga som skadas. Dödsbränder i samlingslokaler är väldigt sällan förekommande i Sverige, men det finns som bekant några få otäcka undantag.



Figur 22. Täthetsfunktionen för $R_{medel} \mid R > 0$.



Figur 23. Täthetsfunktionen för $P_{individ} \mid R > 0$.



Figur 24. Täthetsfunktionen för $P_{sämst} \mid R > 0$.

Osäkerhetsanalysen skapar inte underlag till att avgöra om risken är stor eller liten i förhållande till andra risker i samhället, eftersom frekvensen för att brand ska uppstå i byggnaden inte ingår i analysen. Däremot kommer en relativ jämförelse vara möjlig mellan de olika scenarierna och grupperna av osäkerhet.

Täthetsfunktionen för individrisken, se Figur 23, följer samma utseende som medelrisken. Värt att notera är att det för den sämst belägna personen förekommer fall då sannolikheten att utsättas av kritiska förhållanden är väldigt hög, se Figur 24, vilket visas av staplarna till höger i bilden. Det kan innebära en orimligt hög riskexponering av en enskild individ ($P_{sämst}$),

betydligt högre än vad risken jämt fördelad på personerna i byggnaden anger. Det ger också en indikation på att risknivån kan variera mycket beroende på var i lokalen en person befinner sig.

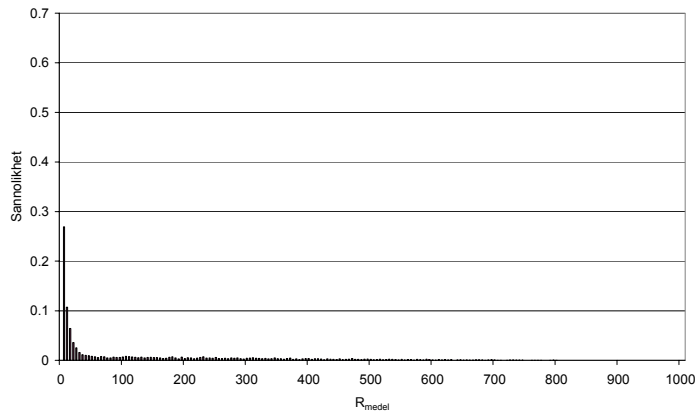
De variabler som har störst inverkan på variationen hos samtliga riskmått vid typbrand 1 är: α , N , h och A . Att tillväxthastigheten och personantalet i byggnaden har stor betydelse är väntat. Det samma gäller höjden. Lite överraskande är att arean har så stor inverkan på risknivån, eftersom hänsyn tas till arean vid dimensionering av utrymningsvägarnas bredd. Dessa variabler kan vara lämpliga att studera vidare om de byggnaderna med högst risk ska reduceras. För en fullständig korrelationsanalys mellan samtliga indatavariabler och de tre riskmåten som studerats hänvisas till Bilaga G.

7.3.2 Totala osäkerheten vid brand i det intilliggande utrymmet (typbrand 2)

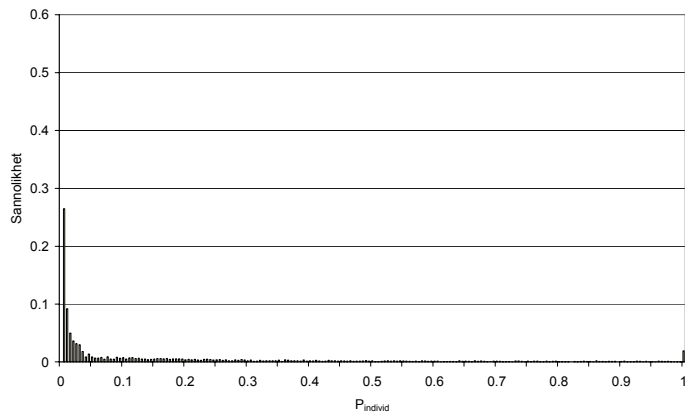
Tabell 8 redovisas parametervärdena som tidigare beskrivits i avsnitt 7.3. I Figur 25 – Figur 27 redovisas täthetsfunktionerna för de tre riskmåten givet att riskmåten är större än noll. Eftersom både variabler i grupp 1 och grupp 2 varierar innebär det att variationen i risknivå avspeglar variationen i hela den klass av samlingslokaler som indata representerar.

Tabell 8. Parametervärden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R .

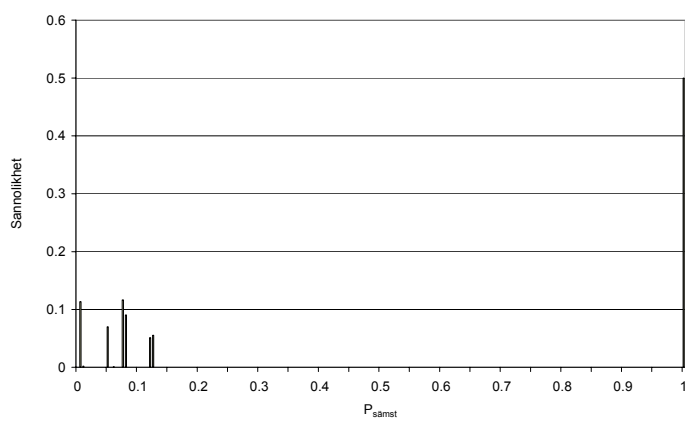
Riskmått (R)	$E(R)$	$E(R) _{R>0}$	$P(R>0)$
R_{medel}	56	130	0.44
$P_{individ}$	0.074	0.17	0.44
$P_{sämst}$	0.24	0.53	0.44



Figur 25. Täthetsfunktionen för $R_{medel} |_{R>0}$.



Figur 26. Täthetsfunktionen för $P_{individ} | R > 0$.



Figur 27. Täthetsfunktionen för $P_{sämst} | R > 0$.

Täthetsfunktionen för medelrisken avtar även i detta scenario exponentiellt, men den genomsnittliga risknivån är högre och spridningen större. Betydligt fler fall förekommer med en högre medelrisk än för typbrand 1. Medelvärdet för medelrisken är nästan en faktor 10 högre för typbrand 2 jämfört med typbrand 1, jämför R_{medel} i Tabell 7 och Tabell 8. Motsvarande ökning av risknivån kan observeras för individrisken, se Figur 26, och det finns även fall där individrisken är 1, d.v.s. då alla personer i lokalen utsätts för kritiska förhållanden givet brand. Det tyder på en högre katastrofpotential vid denna typ av brand än vid typbrand 1. Riskökningen återspeglas även för den sämst belägna personen, där sannolikheten att påverkas av kritiska förhållanden givet att övertänd brand uppstår i intilliggande lokal ökar drastiskt, se Figur 27. Detta pekar tydligt på behovet av att studera bränder i intilliggande lokaler för att värdera risknivån vid verifiering.

De variabler som har störst inverkan på variationen hos samtliga riskmått är: h , N och A .

En djupare analys utförs för att studera hur de olika typerna av osäkerhet påverkar hur risken varierar vid brand i det intilliggande utrymmet (typbrand 2) för klassen av byggnader. Det sker genom att studera variablerna i grupp 1 och 2 var för sig (se avsnitt 4.5 för beskrivning av grupperna). Storleken på variationen i risknivå i en enskild lokal (typbyggnaden) kan jämföras med variationen i risknivå inom klassen av samlingslokaler som studeras.

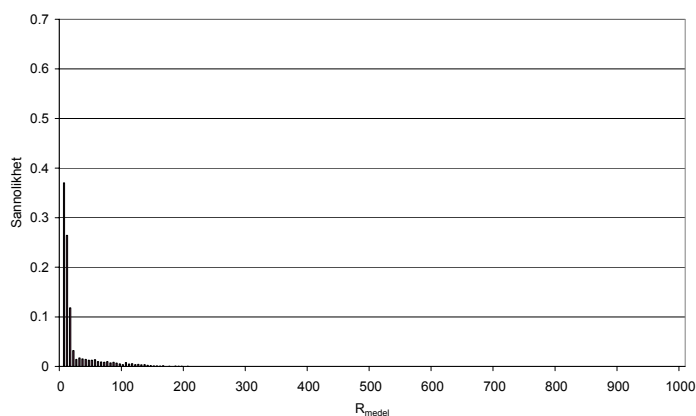
7.3.3 Osäkerhet i variabler i grupp 1 vid brand i ett intilliggande utrymme

I detta avsnitt studeras riskmåttens variation när enbart osäkerheterna i variabler i grupp 1 tas med, vilka presenterats i avsnitt 7.1. Eftersom lokalens geometri hålls konstant visar analysen på riskmåttens variation inom en och samma byggnad - typbyggnaden.

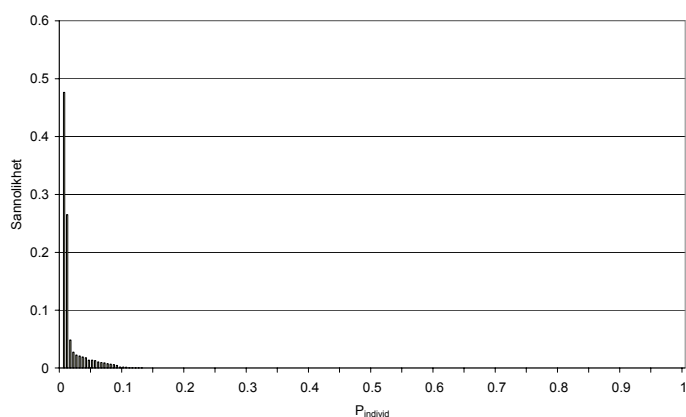
I Tabell 9 redovisas parametervärdena som tidigare beskrivits i avsnitt 7.3. I Figur 28 – Figur 29 presenteras täthetsfunktionerna för de tre riskmåten givet att riskmåten är större än noll.

Tabell 9. Parametervärden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R .

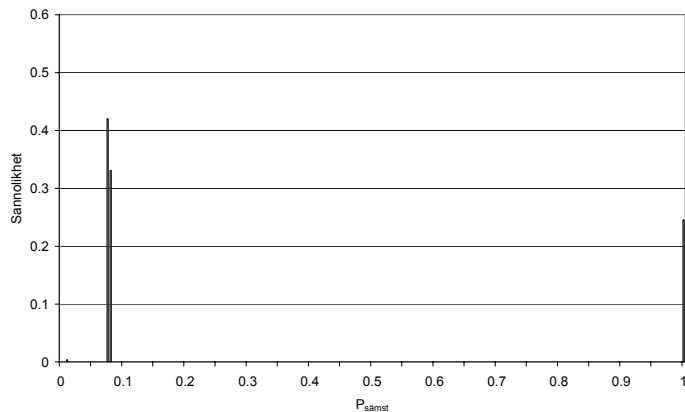
Riskmått (R)	$E(R)$	$E(R) _{R>0}$	$P(R>0)$
R_{medel}	5.1	19	0.26
$P_{individ}$	0.0034	0.013	0.26
$P_{sämst}$	0.08	0.3	0.26



Figur 28. Täthetsfunktionen för $R_{medel} |_{R>0}$.



Figur 29. Täthetsfunktionen för $P_{individ} |_{R>0}$.



Figur 30. Tähetsfunktionen för $P_{sämst} | R > 0$.

Tähetsfunktionens utseende för medelrisken och den individrisken påminner om tidigare resultat, se Figur 28. Sannolikheten för en hög risknivå i lokalen är exponentiellt avtagande. Medelrisken för typbyggnaden är lägre än medelrisken för hela klassen av byggnader, men ändå i samma storleksordning. Det är rimligt eftersom typbyggnaden motsvarar en slags medelbyggnad i klassen av samlingslokaler som analyserats. Både medelrisken och individrisken för typbyggnaden har betydligt mindre spridning jämfört med variationen i risknivå för hela klassen av byggnader. Ändå kan medelrisken i typbyggnaden bli upp mot 40 ggr så hög som medelrisken för hela klassen av samlingslokaler. Det innebär att spridningen i risknivån till följd av variabler i grupp 1 ändå är påtaglig. För typbyggnaden finns inga fall då alla personer påverkas av kritiska förhållanden, se Figur 29.

Individrisken för den sämst placerade personen är visserligen hög i flera fall, se Figur 30, men betydligt lägre än när variablerna i grupp 2 varierar samtidigt som grupp 1, se avsnitt 7.3.2.

Den variabel som har störst påverkan på risknivån är variabeln N som anger hur många personer som faktiskt vistas i lokalen samt variabeln s samt E som styr hur många som väljer att utrymma genom den utgången som de kom in genom. Reaktions tiden har också viss betydelse för osäkerheten i riskmåttet med en korrelationskoefficient på ca 0.1.

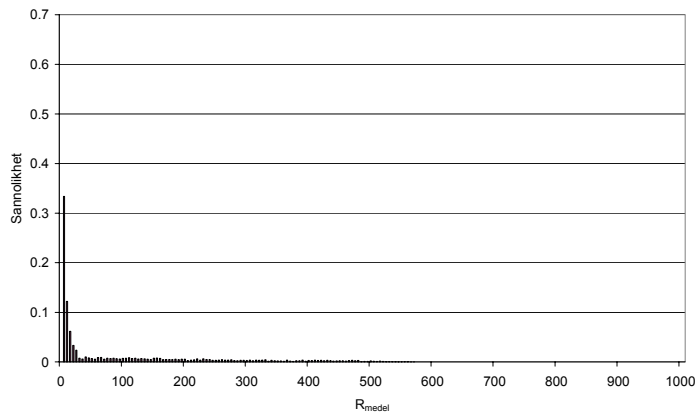
7.3.4 Osäkerhet i variabler i grupp 2 vid brand i ett intilliggande utrymme

I detta avsnitt studeras variationen i riskmåttet när variabler i grupp 2 varierar, d.v.s. variabler som påverkas av beslut i samband med projektering men som inte ändras när det bestäms hur byggnaden ska se ut. Analysen redovisar hur risknivån varierar inom en klass av samlingslokaler som definieras av variationsintervallen för arean och höjden.

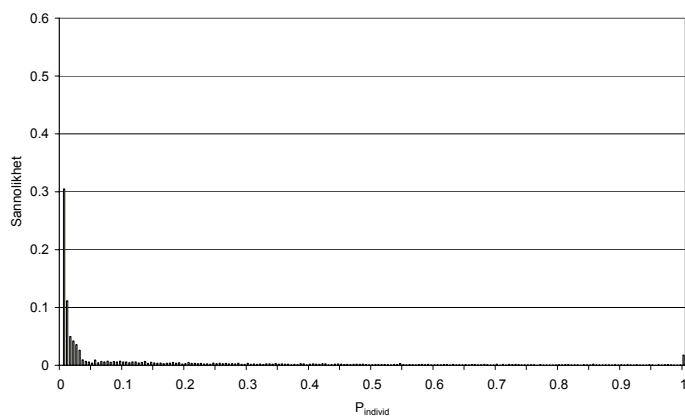
I Tabell 10 redovisas parameter värdena som beskrivits i avsnitt 7.1. I Figur 31 – Figur 33 presenteras tähetsfunktionerna för de tre riskmåttet givet att riskmåttet är större än noll.

Tabell 10. Parameter värden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R .

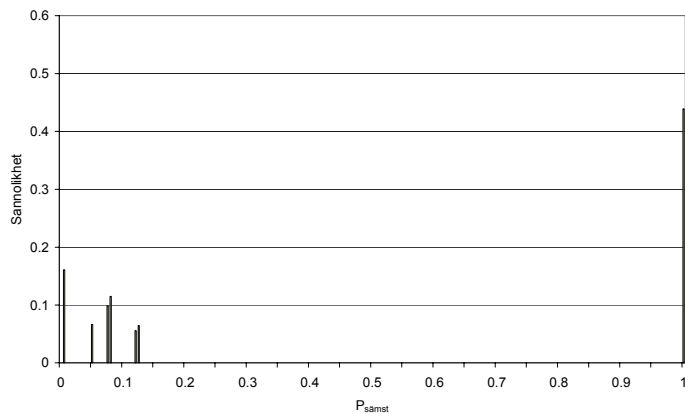
Riskmått (R)	$E(R)$	$E(R) R > 0$	$P(R > 0)$
R_{medel}	44	93	0.47
$P_{individ}$	0.22	0.47	0.47
$P_{sämst}$	0.072	0.15	0.47



Figur 31. Täthetsfunktionen för $R_{medel} \mid R > 0$.



Figur 32. Täthetsfunktionen för $P_{individ} \mid R > 0$.



Figur 33. Täthetsfunktionen för $P_{sämst} \mid R > 0$.

Medelvärde för medelrisken är i samma storleksordning som medelrisken när både variabler i grupp 1 och grupp 2 varierar. Utseendet på täthetsfunktionen är också jämförbart. Att variationen hos riskmått är stor i denna analys innebär att risknivån i olika byggnader inom klassen skiljer sig mycket. Vissa byggnader har alltså betydligt högre risknivå än andra, närmare 100 ggr högre medelrisk än typbyggnaden som studerades i avsnitt 7.3.3.

En stor del av variationen i risknivån för klassen av byggnader härstammar från variabler som påverkas av de beslut som fattas vid projektering. Förenklad dimensionering tar i viss utsträckning hänsyn till dessa beslut, t.ex. genom att arean påverkar hur många personer som

kan vistas i byggnaden vilket är underlag för dimensionering av utrymningsbredd. Denna analys visar att trots att sådana samband finns medtagna i förenklad dimensionering förekommer stora variationer i risknivå. Korrelationsanalysen i Bilaga G visar att alla variabler i grupp 2 har stor inverkan på variationen i risknivå.

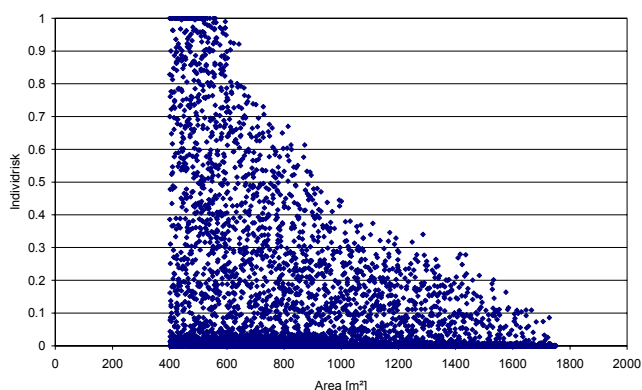
7.3.5 Kommentarer till osäkerhetsanalysen

Risken till följd av en brand i ett intilliggande utrymme (typbrand 2) jämfört med riskbidraget från en brand som börjar i samlingslokalen (typbrand 1) är stor givet att brand uppstår. Riskbidraget från typbrand 2 bedöms vara så stort att det inte kan avfärdas utan vidare vid verifiering. Detta trots att sannolikheten för respektive brand ska uppstå inte har undersökts närmare i denna studie.

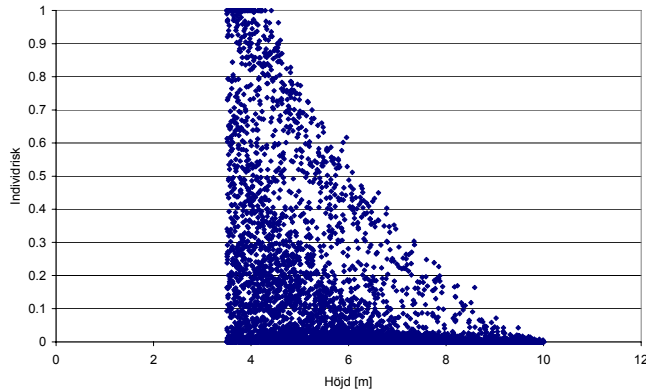
Osäkerhetsanalysen visar att risknivån för en klass av samlingslokaler varierar mycket när förenklad dimensionering används. I vissa fall förväntas ett stort antal personer exponeras för kritiska förhållanden givet brand, d.v.s. medelrisken är hög. Hur kan de beräknade resultaten användas vid analytisk dimensionering? Det beror till stor del på om variationen i risknivå innebär att ”tillfredställande utrymning” uppnås eller ej, d.v.s. om det intervall som risknivån varierar inom är acceptabelt eller inte. I den detaljerade studien av typbrand 2 framkommer att huvuddelen av variationen och även det största riskbidraget för klassen av samlingslokaler härstammar från variabler i grupp 2. Variationen i risknivå inom en och samma byggnad p.g.a. naturlig variation är liten i förhållande till hur risknivån varierar mellan olika byggnader.

De variabler som har störst inverkan på variationen i risknivå är samma både vid typbrand 1 och typbrand 2. Framförallt påverkar osäkerheten i höjden, arean och det faktiska personantalet variationen i risknivån.

Betydelsen av variablerna area och höjd är så påtaglig att en noggrannare analys av hur variablerna höjd och area är korrelerade mot riskmättet individrisk har utförts. Resultaten presenteras i Figur 34 och Figur 35.



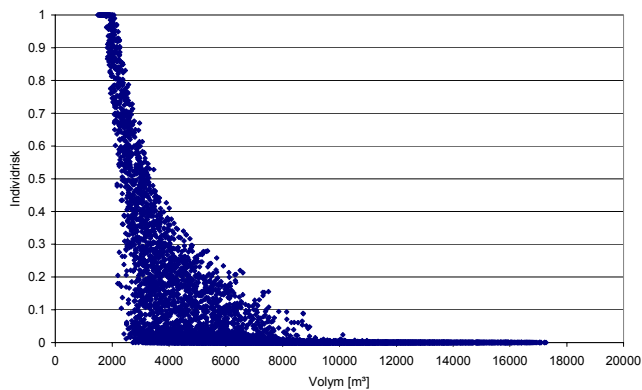
Figur 34. $P_{individ}$ plottat mot A .



Figur 35. $P_{individerisk}$ plottat mot h .

Sambandet är mycket tydligt. Risken är hög både för små areor och låga höjder. Inverkan är så stor att det finns anledning att studera hur effekten av dessa variabler samverkar. Det kan ske genom att studera om det finns ett beroende mellan riskmättet och volymen hos byggnaden.

I Figur 36 går det att identifiera ett mycket starkt samband mellan låg volym hos byggnaden och en hög risknivå. Enligt analysen medför nuvarande dimensioneringsmetodik att risknivån i lokaler med liten volym är väsentligt högre än för genomsnittslokalen.



Figur 36. $P_{individerisk}$ plottat mot V .

Varje punkt i Figur 36 representerar risken i en byggnad i den klass av byggnader som dimensionerats med förenklad dimensionering. Det är alltså inga ”konstiga” scenarier eller utfall som studerats och ändå finns denna spridning i risknivå! Skillnaderna i risknivå är så stora att en översyn av förenklad dimensionering bör ske där ytterligare skydd bör krävas för de lokaler med högst risknivå, samtidigt som kraven eventuellt kan minskas för lokaler med stor volym.

Spridningen i risknivå kan i så fall minskas utan att byggkostnaderna höjs för klassen av byggnader. Motsvarande diagram som redovisas i Figur 34 - Figur 36 tog fram vid alla osäkerhetsanalyser som presenterades i avsnitt 7.3. Resultaten finns redovisade i Bilaga G.

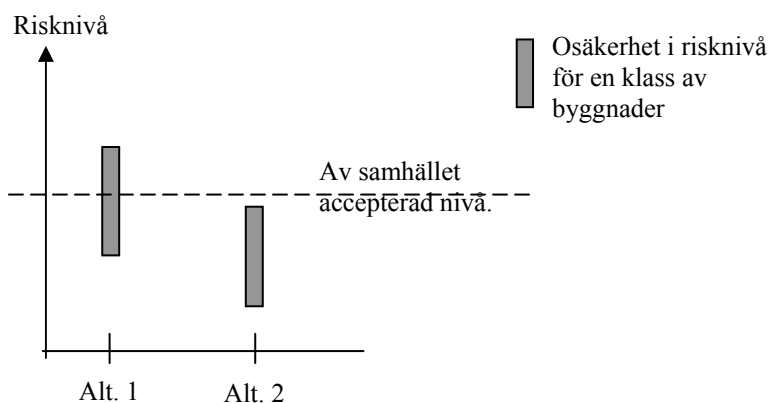
8 Tillämpning vid dimensionering

I osäkerhetsanalysen undersöks hur risknivån varierar för en klass av samlingslokaler när osäkerhet i indata fortplantas genom riskberäkningarna. Resultaten är entydiga. Risknivån till följd av förenklad dimensionering varierar avsevärt inom den klass av samlingslokaler som studeras. Även inom en och samma samlingslokal varierar risknivån mycket.

Dessutom framgår att variationen i riskbidraget till följd av lite allvarligare händelser (typ-brand 2) är stor inom klassen av samlingslokaler. Flera av de variabler som definierar en klass av lokaler, t.ex. area och höjd, har en påtaglig inverkan på detta riskbidrag när brandskyddet dimensionerats med förenklad dimensionering.

Resultaten från känslighets- och osäkerhetsanalysen kan tillämpas på olika sätt beroende på hur de tolkas. Det är inte uppenbart vilken tolkning som är "rätt" så därför diskuteras tillämpning vid dimensionering för båda tolkningarna, vilka illustreras i Figur 37.

1. Den genomsnittliga risknivån är acceptabel men inte den stora variation i risknivå för klassen av samlingslokaler (avsnitt 8.1). Målet med förenklad dimensionering är att få en likartad säkerhet inom varje byggnadskategori och vissa risknivåer i analysen är alltför höga.
2. Risknivån och dess variation avspeglar samhällets preferenser när det gäller brandsäkerhet i samlingslokaler och motsvarar kraven på "tillfredsställande utrymning" i BBR 5:31 (avsnitt 8.2). Motsvarande säkerhetsnivå bör eftersträvas vid analytisk dimensionering.



Figur 37. Två alternativa tolkningar av risknivån i en klass av byggnader till följd av förenklad dimensionering.

En möjlig tredje tolkning är att varken risknivån eller dess variation är acceptabel, men detta anses inte vara troligt. Det skulle innebära att dagens brandskyddsnivå är för låg och en höjning av denna förväntas innebära kostnadsökningar vid byggnation. Vid införandet av de funktionsbaserade byggreglerna angavs uttryckligen att samma säkerhetsnivå eftersträvades och att det skulle ske utan någon kostnadshöjning. Den genomsnittliga brandskyddsnivån anses därför vara acceptabel. I följande stycken presenteras en diskussion om hur resultaten kan användas för att ta fram en acceptabel risk vid analytisk dimensionering med utgångspunkt från de båda olika tolkningarna ovan. Sist i kapitlet lämnas förslag på hur dagens

verifieringsmetodik vid analytisk dimensionering bör utvecklas för att även beakta konsekvenserna till följd av lite allvarligare händelser.

8.1 Variationen i risknivån är inte acceptabel

Vad kan göras om variationen i risk inte är acceptabel? Två tänkbara strategier är att minska spridningen i risk inom byggnadsklassen och/eller att studera de specifika fallen där risknivån blir hög och se om åtgärder kan vidtas för att reducera risken för dessa byggnader. Gemensamt för båda strategierna är att de handlar om en förändring av förenklad dimensionering. En sådan förändring kan ske på olika sätt, t.ex. genom:

- restriktioner av variabler som inte beaktas vid förenklad dimensionering,
- att ändra befintliga parametrar i förenklad dimensionering eller
- en vidareutveckling av förenklad dimensionering (införa nya variabler).

Med hjälp av riskanalysmetodiken som presenterats i den här rapporten är det möjligt att modellera effekten av förändringar av förenklad dimensionering, t.ex. för att utvärdera hur effektiva de är. Det är också möjligt att mer ingående studera vilka variabelkombinationer (byggnader) som leder till fall med hög risknivå. I följande avsnitt beskrivs de olika möjligheterna att förändra förenklad dimensionering för att påverka risken. Några exempel på effekterna av förändringar av dimensioneringsmetoden presenteras.

8.1.1 Restriktioner av variabler som inte beaktas vid förenklad dimensionering

Ett sätt att påverka säkerheten är att genom begränsningar styra eller kontrollera vissa variabler som har stor inverkan på risken. Först måste variabler eller kombinationer av variabler som påverkar just de fall där risken blir hög identifieras. En sådan undersökning har genomförts med en korrelationsanalys mellan de osäkra variablerna och de olika riskmått, se Bilaga G. Att begränsa vissa variabler genom att ange minimi- eller maximinivåer är möjligt, men samtidigt kontroversiellt. Ett exempel är att bestämma en lägsta tillåtna takhöjd för samlingslokaler eller en minsta area. Efter att projekteringen är klar kommer dessa variabler inte att ändras, eftersom de tillhör variabler av grupp 2. Under brukarskedet behövs inte någon kontroll av att restriktionerna efterlevs, såvida inte ombyggnad sker. Variabler som hör till grupp 1 är osäkra till följd av naturlig variation, men de är ändå möjligt att utfärda restriktioner. Exempelvis kan personantalet i en lokal begränsas. För att sådana restriktioner ska ge den säkerhetshöjande effekt som är syftet är det viktigt att förutsättningar för en god efterlevnad finns. Restriktioner är ofta verkningslösa om de konkurrerar med användningen av en byggnad. Därför är det lämpligare att låta personantalet i en lokal begränsas av antalet sittplatser än med en skylt som anger hur många som tillåts vistas i lokalen.

Av känslighetsanalysen att döma är både höjden och antalet personer i byggnaden variabler som har stor påverkan på säkerheten. För att illustrera hur kontroll av variabler kan påverka säkerheten redovisas två exempel:

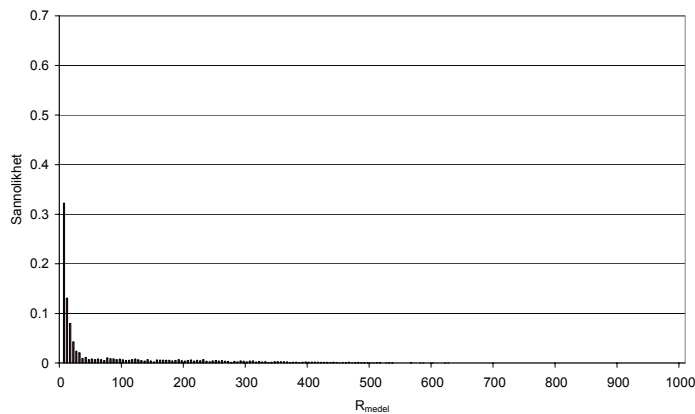
- Begränsning av lägsta takhöjden i samlingslokalen.
- Ingen osäkerhet i det faktiska personantalet, d.v.s. det faktiska personantalet är samma som det dimensionerande personantalet, $N = \rho_{dim} \cdot A$.

Begränsning av lägsta takhöjden i samlingslokalen

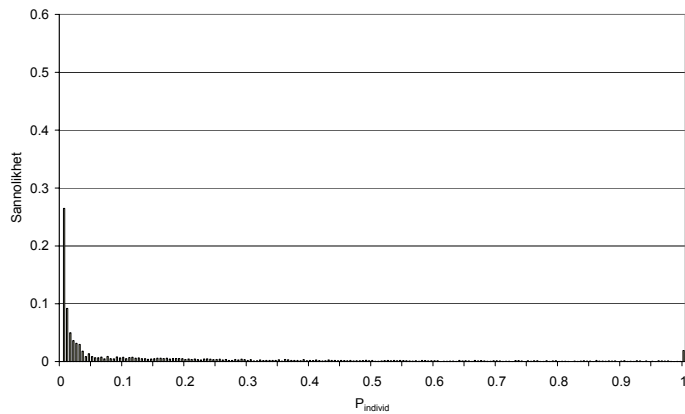
Genom att begränsa den lägsta tillåtna takhöjden till 4.5 meter kommer risken att påverkas. Höjden är en variabel som inte beaktas i förenklad dimensionering. Effekten av en restriktion på takhöjden kan utläsas i Tabell 11 och Figur 38 - Figur 40. Risken som studeras är givet brand i det intilliggande utrymmet, där variabler i både grupp 1 och 2 varierar.

Tabell 11. *Parametervärden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R.*

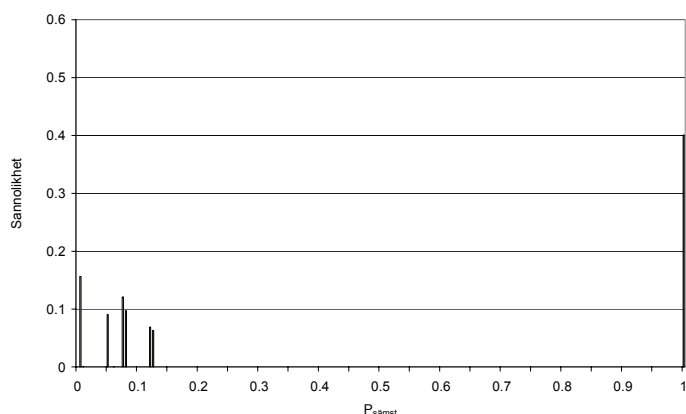
Riskmått (R)	E (R)	E (R) $R>0$	P(R>0)
R_{medel}	29	77	0.38
$P_{individ}$	0.039	0.1	0.38
$P_{sämst}$	0.17	0.44	0.38



Figur 38. *Täthetsfunktionen för $R_{medel} | R>0$, minsta tillåtna takhöjd 4.5 m.*



Figur 39. *Täthetsfunktionen för $P_{individ} | R>0$ minsta tillåtna takhöjd 4.5 m.*



Figur 40. Täthetsfunktionen för $P_{sämst} | R>0$ minsta tillåtna takhöjd 4.5 m.

För att analysera effekten av restriktionen jämförs resultaten med osäkerhetsanalysen av branden i ett intilliggande utrymme där takhöjden minimalt är 3.5 meter, se avsnitt 7.3.2.

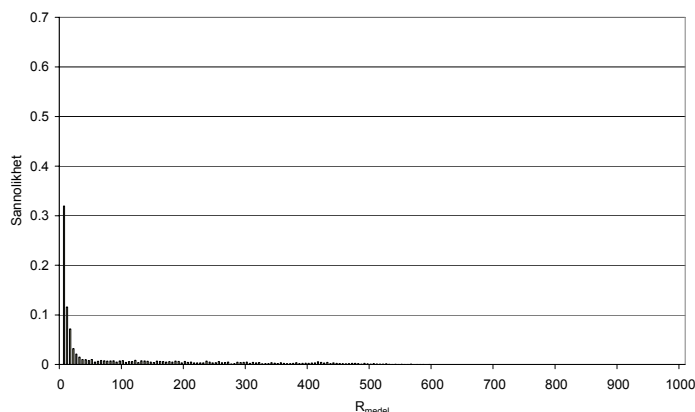
Genom att höja den lägsta takhöjden sker en halvering av risknivån. Däremot påverkas inte variationen i risknivå nämnvärt, oavsett vilket riskmått som studeras. De fall som det är särskilt angeläget att påverka, d.v.s. scenarier med stora konsekvenser och de där en enskild individ exponeras för en hög risknivå, ändras inte nämnvärt. Korrelationen mellan hög risknivå och höjden minskar när restriktionen införs, vilket är ett tecken på att restriktionen har effekt. Samtidigt är det fortfarande höjden tillsammans med arean och personantalet som har störst betydelse för risknivåns variation.

Ingen osäkerhet i det faktiska personantalet

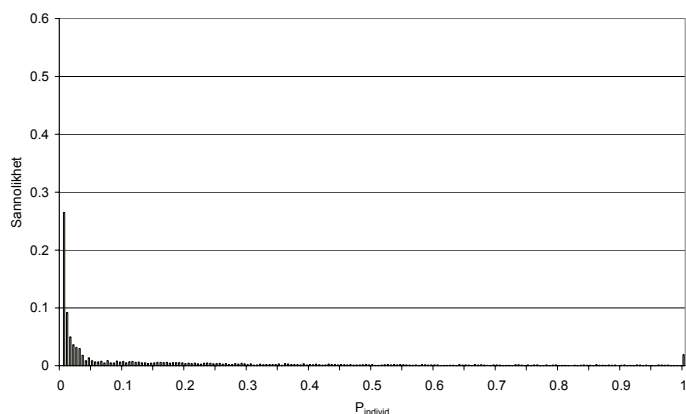
Om det förutsätts att det faktiska personantalet inte kommer att överstiga det dimensionerande personantalet kommer risken att påverkas. Resultatet kan utläsas i Tabell 12 och Figur 41 - Figur 43. Risken som studeras är givet att branden i det intilliggande utrymmet inträffar, där variabler i både grupp 1 och 2 varierar (förutom N).

Tabell 12. Parametervärden från osäkerhetsanalysen för olika riskmått, R .

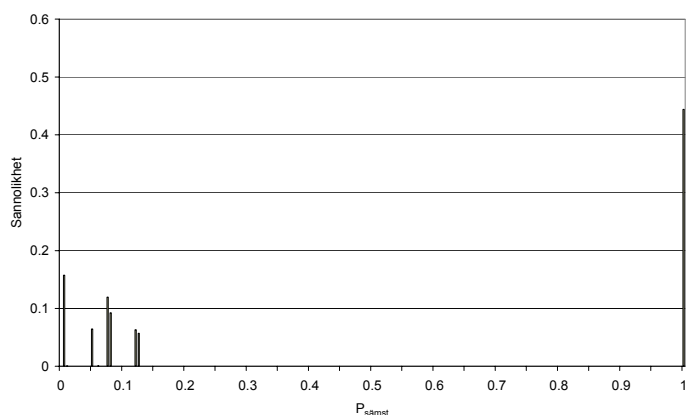
Riskmått (R)	$E(R)$	$E(R) R>0$	$P(R>0)$
R_{medel}	4	96	0.42
$P_{individ}$	0.066	0.16	0.42
$P_{sämst}$	0.2	0.48	0.42



Figur 41. Täthetsfunktionen för $R_{medel} | R>0$, när personantalet inte varierar.



Figur 42. Täthetsfunktionen för $P_{individ} \mid R > 0$ när personantalet inte varierar.



Figur 43. Täthetsfunktionen för $P_{sämst} \mid R > 0$ när personantalet inte varierar.

För att analysera effekten av restriktionen utförs en relativ jämförelse med osäkerhetsanalysen av branden i ett intilliggande utrymme där personantalet varierar, se avsnitt 7.3.2.

Genom att införa denna restriktion minskar medelvärdet på medelrisken med ungefär 1/3 för hela klassen av byggnader. De fall som det är särskilt angeläget att påverka, d.v.s. de med stora konsekvenser och de där en enskild individ exponeras för en hög risknivå, påverkas inte nämnvärt.

Betydelsen av variabeln höjd och area ökar i betydelse, eftersom en variabel som tidigare hade stor inverkan på risken hålls konstant.

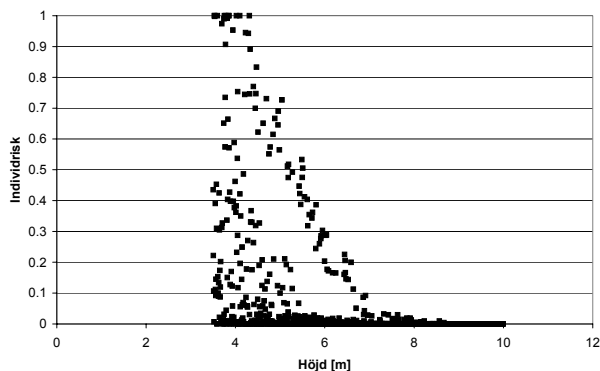
Syftet med exemplen är att visa på möjligheterna att analysera effekterna av olika förslag på förändring av förenklad dimensionering.

8.1.2 Ändra befintliga parametrar i förenklad dimensionering

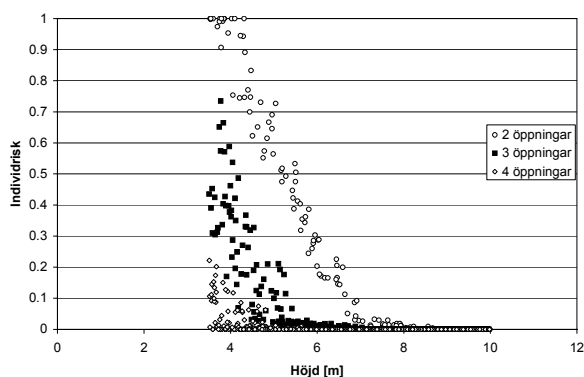
Ett annat tillvägagångssätt för att påverka risken är att modifiera den nuvarande dimensioneringsmetoden. Det kan göras genom att ändra vissa parametrar, t.ex. minsta antalet utrymningsvägar eller minsta tillåtna utrymningsbredden. Att identifiera lämpliga förändringar är en iterativ process, där resultatet av en förändring kan utvärderas med hjälp av riskanalysmetoden, snarare än att en optimering för hela klassen av byggnader är möjlig.

Exempel på förändringar som skulle kunna utvärderas är att:

- kräva minst 3 utgångar från alla samlingslokaler eller
- ändra i dimensioneringsmetoden t.ex. så att 1 meter dörrbredd krävs för 100 personer i stället för 150 personer.



Figur 44. P_{individ} plottat mot h när det personerna i byggnaden motsvarar det dimensionerande personantalet.



Figur 45. P_{individ} plottat mot h när personantalet i byggnaden motsvarar det dimensionerande personantalet.

Förändring av medelrisk, spridning för de olika riskmått m.m. är enkelt att analysera med den framtagna riskanalysmetodiken. Om det på ett enkelt sätt går att modifiera nuvarande förenklade dimensioneringsmetod så att spridning minskar är emellertid oklart.

I Figur 44 redovisas hur riskmättet individrisk varierar med höjden för typbrand 2 där det också antas att personantalet är samma som det dimensionerande. Antalet personer som vistas i lokalen styrs av arean. Antalet utgångar beror av personantalet enligt förenklad dimensionering.

I Figur 45 presenteras samma data, men olika markeringar används beroende på hur många utgångar som fanns i lokalen. Risknivån är genomgående högre för de fall där endast två utrymningsvägar finns tillgängliga. I denna rapport sker ingen vidare analys av effekten av att förändra parametrarna i förenklad dimensionering. Detta sätt att förändra förenklad dimensionering är ganska trubbigt, men bör inte avfärdas utan vidare analys.

förenklad dimensionering (införa nya variabler)

Ett mer nyanserat sätt att förändra förenklad dimensionering på är att studera de faktorer som bidrar till den stora spridningen i risknivå och de faktorer som bidrar till att risknivån blir hög. Det kan ske genom att inkludera de betydelsefulla variablerna i dimensioneringsmetoden. Ett sätt är att skapa olika dimensioneringsekvationer för olika undergrupper i byggnadsklassen, t.ex. med avseende på takhöjd. Ett annat sätt är att inkludera de betydelsefulla variablerna i själva dimensioneringsuttrycken. Exempelvis kan antalet personer per meter utrymningsbredd uttryckas som en funktion av höjden. Om fler personer tillåts per meter utrymningsbredd i höga lokaler än i låga kommer spridningen i säkerhet att minska. Även detta angreppssätt blir iterativt, d.v.s. ett förslag till förändring tas fram och sedan utvärderas effekten. En fördel med

8.1.3 Vidareutveckling av

att utveckla förenklad dimensionering jämfört med de tidigare förslagen är att det finns goda förutsättningar att faktiskt lyckas komma åt problemen som identifierats. En nackdel är att den förenklade dimensioneringen blir mer komplicerad.

I korrelationsanalysen som presenteras i Bilaga G är det tydligt att volymen är en variabel som har goda förutsättningar att jämma ut variationen i risknivån om den inkluderas i dimensioneringsuttrycken i förenklad dimensionering. Sambandet mellan liten volym och hög risknivå är mycket tydligt, se t.ex. kapitel 7. Det vore lämpligt att låta den totala utrymningsbredden vara en funktion av volymen.

Vid en vidareutveckling av förenklad dimensionering är det lämpligt att studera inverkan av beroenden mellan höjden och andra viktiga variabler, t.ex. detektions- och reaktionstid, på risknivån.

8.2 Risknivån och dess variation avspeglar samhällets preferenser

Givet att den framräknade risknivån överensstämmer med den risken som samhället accepterar, bör både riskanalysmetoden och de framräknade risknivåerna vara ett bra underlag vid analytisk dimensionering. Bristande kunskap om vissa indata och osäkerheter skapar begränsningar i tillämpningen, t.ex. när det gäller möjligheten att väga in påverkan på sannolikheten för brands uppkomst. Metoden måste användas med viss försiktighet. I nuläget lämpar sig den föreslagna metodiken bäst för att göra relativa jämförelser mellan olika alternativ. Ett exempel på analys som kan vara aktuell är hur risken påverkas om 4st 0.8m dörrar installeras i stället för 2st 1.2m dörrar eller om extra skyddsåtgärder gör det möjligt att reducera antalet utrymningsvägar.

Den stora variationen av risknivån inom klassen av samlingslokaler gör det nödvändigt att ställa krav på valet av referensobjekt i samband med verifiering. De lösningar som dimensionerats med förenklad dimensionering och som har sämst säkerhet medvetet väljas som referensobjekt. Då kan säkerheten för klassen av byggnader att reduceras väsentligt på sikt, speciellt med tanke på den stora variation som påvisats i denna studie. Vid införandet av analytisk dimensionering 1994 var avsikten att bibehålla säkerhetsnivån. Det är därför viktigt att tänka efter innan lämpliga referensobjekt och kvantitativa kriterier bestäms för individuella byggnader. Vid val av referensobjekt är det lämpligt att välja en byggnad vars risknivå motsvarar ett medelvärde för klassen av byggnader för att undvika att det ”sämsta fallet” väljs. Tydlig vägledning till projektörer om vad som är en lämplig nivå bör tas fram för att undvika onödigt stora variationer.

Alla variabler som påverkar säkerheten kan inte ingå i en enkel dimensioneringsmetod. Samtidigt är det oklart hur variabler som inte ingår i den förenklade dimensioneringen men har stor inverkan på säkerheten ska hanteras vid analytisk dimensionering. Höjden är ett sådant exempel. Om den totala dörrbredden ökas i en lokal är det enligt förenklad dimensionering tillåtet att ta in fler personer i byggnaden. Är det uteslutet att resonera på samma sätt när det handlar om takhöjd? Genom att använda analytisk dimensionering bör det gå att visa att säkerheten blir den samma som vid förenklad dimensionering genom att takhöjden höjs, och då borde fler personer tillåtas i byggnaden utan att utrymningsvägarna breddas. Någon kanske försöker minska den totala dörrbredden i utbyte mot att höja taket. Om en risknivå fastställs som dimensionerande kriterium kommer det få till följd att en byggnads höjd kommer få stor inverkan på behovet av övriga skyddssystem eller vilket maximalt gångavståndet

till en utrymningsväg som är tillåtet i byggnaden. Det blir möjligt eftersom det med analytiska metoder går att visa att säkerheten i byggnaden är tillräcklig.

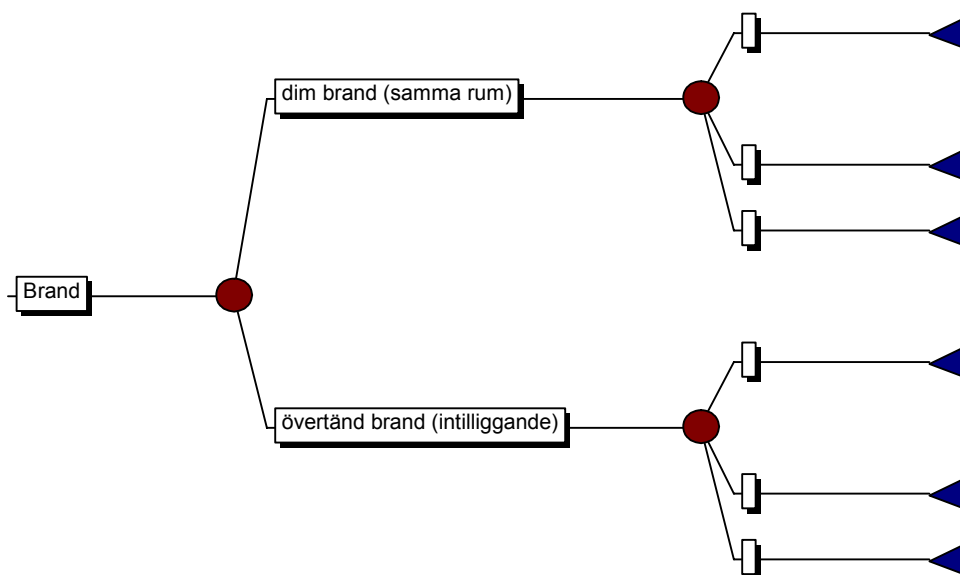
8.3 Riskbaserad verifiering

Förutom att risken till följd av förenklad dimensionering varierar, har det i känslighets- och osäkerhetsanalysen konstaterats att riskbidraget från olyckor som kan kategoriseras som lite allvarligare händelser utgör ett riskbidrag som inte kan negligeras utan vidare vid verifiering. Bränder i intilliggande lokaler har vid flera tillfällen krävt flera dödsoffer i samlingslokaler. Denna slutsats stöds både av beräkningarna och av inträffade händelser (SHK, 2001).

I analysen framgår det att enstaka scenarier som baseras på en brand i själva samlingslokalen har en begränsad möjlighet att beskriva hur den totala risken påverkas. Med en sådan begränsad analys går det inte att värdera hur brandskyddet påverkas av en förändring, eftersom denna förändring kan ha effekt på riskbidraget från andra scenarier än det som utvärderas.

Det är svårt att avgöra vad som är en tillräckligt omfattande analys för att mäta att risknivån inte har höjts på grund av en förändring av förenklad dimensionering. Ett sätt är att utgå från beskrivningen av den totala brandrisken i Figur 8 och systematiskt identifiera vilka osäkerheter som är aktuella att hantera. Känslighetsanalysen visar att även vid mindre förändringar av vissa variabler kan risken påverkas i hög utsträckning. Eftersom denna förändring kan härstamma både från bränder av typ 1 och 2 talar mycket för att den verifieringsmetodiken som idag används behöver utvecklas.

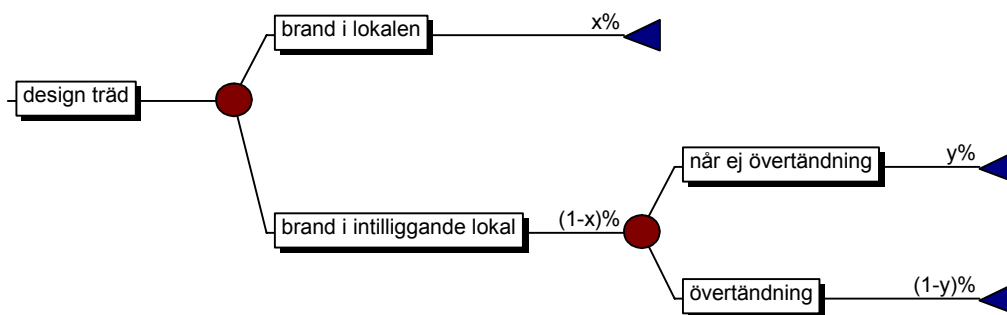
I denna rapport har riskanalysen begränsats till att omfatta typbränderna brand i en samlingslokal och brand i ett intilliggande utrymme. Sannolikheterna för de båda typbränderna har inte tagits med, utan respektive typbrand måste studeras var för sig. För att skapa ett enda riskmått där riskbidraget från båda dessa typbränder ingår krävs att sannolikheten för respektive typbrand kan bestämmas. En sådan modell illustreras i Figur 46.



Figur 46. En total brandrisk där sannolikheterna mellan olika scenarier finns medtagen.

Med denna modell kan skillnader mellan alternativ där brandfrekvensen påverkas analyseras. Mängden och typen av intilliggande lokaler är exempel på faktorer som skulle kunna påverka den totala brandrisken. Arean och verksamheten är andra. Ur ett dimensioneringsperspektiv kan det därför finnas behov av att förfina modellen ytterligare, eftersom alla bränder som inträffar måste räknas till någon av typbränderna om risken ska representeras på ett korrekt sätt. Om det finns många bränder som har ett långsammare förlopp och mindre konsekvens, kommer modellen bli konservativ.

I känslighetsanalysen blir betydelsen av automatisk detektion liten. Anledningen är att larmet påverkar sannolikheten för att typbrand 2 ska uppstå, men inte konsekvensen när övertänd brand i ett intilliggande rum har uppstått. När tidig detektion sker bör personerna i byggnaden ha en chans att snabbt släcka och då uppstår inte övertändning. En mer nyanserad modell där detta kan beaktas presenteras i Figur 47.



Figur 47. Förenklad modell för dimensionering av utrymnings säkerhet.

Faktorer som funktion, tillförlitlighet och underhållsnivå på skyddssystem medför olika värden på x och y . Dimensionerande kriterier kan formuleras antingen för designträdet som helhet, alternativt för respektive typbrand. Metodiken innebär att ytterligare data behövs och ett systematiskt sätt att samla in dessa är nödvändigt.

Modellen i Figur 47 är ett sätt att skapa en generell verifieringsmodell, genom att de olika skyddssystemen inte modelleras som händelser utan i stället inverkar på ett standardiserat händelsetråd. Det innebär att de brandfall (jämför med dimensionerande lastfall) som ska undersökas finns specificerade och kan inte väljas bort av projektören. Beroende på vilka skyddssystem som installeras kommer sannolikheterna för respektive typbrand att påverkas. Dessa skulle eventuellt kunna anges som dimensionerande värden i dimensioneringshandböcker eller allmänna råd. Om det inte finns några intilliggande lokaler blir $x = 100\%$.

Hur osäkerheter i konsekvensberäkningarna ska hanteras måste bestämmas. Om samma dimensionerande värden används för en hel klass av byggnader kommer säkerhetsnivån att variera mycket, ungefär på samma sätt som för förenklad dimensionering. Ett sätt att minska spridningen i risknivå är att låta antingen acceptanskriterier eller dimensionerande värden för variabler i grupp 1 länkas till värdena i grupp 2. För olika objekt inom samma byggnadsklass används olika dimensionerande brandtillväxthastighet eller dimensionerande personantal beroende på vilken höjd, area eller varför inte volym som objekten har. Dessa värden utgör indata i en verifieringsmodell som kan tillämpas för byggnadsklassen, t.ex. med ett händelsetråd enligt Figur 47.

9 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultaten från analysarbetet. Diskussionen struktureras med följande huvudpunkter:

- Riskmått vid verifiering.
- Risknivån till följd av förenklad dimensionering.
- Tillämpning vid analytisk dimensionering.
- Brister vid tillämpning av principer från bärande konstruktioner.
- Utveckling av riskanalysmetoden.
- Fortsatt arbete.
- Reliabilitet och validitet.

9.1 Riskmått vid verifiering

Syftet med verifiering är att värdera hur den totala risken påverkas, för att avgöra om en lösning är tillräckligt säker eller inte. Beroende på vilka scenarier som studeras vid verifiering kan både resultat och slutsatser av värderingen påverkas. Alla de scenarier vars riskbidrag påverkas av en förändring av brandskyddet måste ingå i analysen. Att kartlägga vilka dessa är utgör en mycket viktig del av verifieringen, men sker tyvärr ofta i förbifarten. Val av riskmått och analysmetod påverkar indirekt omfattningen av analysen och vilken information som kommer att ligga till grund för värderingen. Ofta sker detta ganska godtyckligt, vilket kan leda till allvarliga brister i värderingen av säkerheten. En otillräcklig lösning kan framstå som acceptabel eller vice versa. I följande avsnitt diskuteras två typer av scenarier som alltför ofta förbises, men som kan medföra ett stort riskbidrag och dessutom påverkas vid förändring av en lösning som tas fram med förenklad dimensionering.

9.1.1 Scenarier då inte skyddssystem fungerar

Känslighetsanalysen visar att de olika riskmåttens förmåga att avspegla förändringar i den totala risken varierar mycket. Att enbart studera konsekvensen i ett scenario är i många fall otillräckligt för att kunna avgöra hur den totala risken påverkas. Att använda ett lämpligt riskmått vid verifiering är väsentligt för att risken ska kunna värderas på ett tillfredsställande sätt. Dessvärre kan vara svårt att veta vad som är tillräckligt i ett specifikt fall eftersom behovet varierar från gång till gång.

För begränsade förändringar av ett skyddssystem där inga nya osäkerheter introduceras, där scenariostrukturen inte påverkas och där förändringarna enbart påverkar något enstaka scenario kan ett konsekvensbaserat riskmått vara tillräckligt. Ett sådant exempel är vid jämförelse av detektorer med olika detektionstid, under förutsättningen att tillförlitligheten är densamma.

Vid lite mer omfattande förändringar av brandskyddet är det troligt att riskbidraget från fler scenarier påverkas. Då kommer ett konsekvensbaserat riskmått ge missvisande underlag för att dra slutsatser om hur totala riskbilden påverkas. Samma sak gäller om scenariostrukturen förändras och nya scenarier är möjliga, t.ex. om ytterligare ett skyddssystem läggs till eller tas bort. Riskmått som baseras på enstaka scenarier har begränsade möjligheter att visa vilken effekt en förändring av brandskyddet har på den totala risken. Underlaget från en sådan analys har därmed begränsade möjligheter ge en rättvisande bild av om risknivån är acceptabel eller ej. Dessa begränsningar verkar inte vara allmänt vedertagna vid verifiering. Genom att beakta tillförlitlighet hos tekniska system (osäkerhet av typ C i Figur 8) kommer en riskanalys att omfatta dessa scenarier beaktas. Det är även nödvändigt att använda ett riskmått,

t.ex. medelrisk, som baseras på riskbidraget från alla relevanta scenarier för att en rättvisande riskvärdering ska kunna utföras.

9.1.2 Allvarliga händelser

Något som ofta förbises vid verifiering är hur konsekvensen i scenarier med lite allvarligare bränder påverkas. Känslighetsanalysen visar att riskbidraget från denna typ av scenario också är känsligt för variation hos flera variabler som kan påverkas vid förändringar av brandskyddet eller byggnadens utformning.

Osäkerhetsanalysen visar att riskbidraget från scenarier som normalt inte studeras, t.ex. brand i ett intilliggande utrymme, inte är försumbart. Denna typ av brand är överrepresenterad bland de fall där konsekvensen är stor i brandskadestatistiken exempelvis branden i Makedoniska föreningen (SHK, 2001). Beräkningarna visar att risknivån är hög givet att en brand i ett intilliggande utrymme inträffar. Ett exempel på åtgärd som kan minska denna risk är att ställa krav på att automatiskt brandlarm även ska installeras i intilliggande lokaler.

För att avgöra om säkerheten är minst lika bra eller bättre än vid förenklad dimensionering måste riskbidraget från denna typ av scenarier ingå i riskvärderingen. Om denna typ av brand förbises kan risken vid modifiering av brandskyddet i samband med analytisk dimensionering öka väsentligt, utan att det uppmärksammas i verifieringen. Förenklad dimensionering medför ett visst skydd även när allvarliga bränder uppstår och för att upprätthålla en likvärdig säkerhetsnivå vid analytisk dimensionering är det nödvändigt att detta skydd inte försämras.

Allvarliga händelser kan beaktas genom att studera olika typbränder (osäkerhet av typ B i Figur 8). Brist på data om brandfrekvens och brandstartplats medför att riskbidraget från olika bränder inte kan viktas samman till en medelrisk. I stället får riskvärderingen utföras givet att brand uppkommer för respektive typbrand.

9.2 Risknivån till följd av förenklad dimensionering

Variationen i risknivå för en begränsad klass av samlingslokaler har visat sig betydande när förenklad dimensionering används. Medelrisken för olika lokaler inom byggnadsklassen varierar med en faktor 100 från klassens medelvärde. Om denna variation är acceptabel eller inte är avgörande för förutsättningarna att ta fram en risknivå som kan tillämpas som acceptanskriterium vid analytisk dimensionering.

Även om det går att argumentera för att spridningen i risk är acceptabel enligt BBR så är det märkligt om en så stor variation i säkerhetsnivå är önskvärd för en och samma lokaltyp. Eftersom det är samma typ av verksamhet bör risken som personerna i byggnaden exponeras för vara likartad. Stora skillnader i riskexponering beroende på om en person besöker en stor eller liten samlingslokal verkar inte rimligt.

I osäkerhetsanalysen är den dimensionerande persontätheten konstant, medan det faktiska antalet personer som vistas i lokalen varierar. Den variabel som styr personantalet i lokalen visar sig ha stor påverkan på risknivån vilket visar på betydelsen av att lokalen verkligen dimensioneras för det ändamål som den kommer att användas till.

Risken i den klass av samlingslokaler som studeras påverkas i hög utsträckning av både variablerna area och höjd. Ett mycket tydligt samband finns mellan risknivån och produkten av dessa båda variabler, d.v.s. volymen. Enligt BBR 5:11 finns inget som hindrar att en lokal

med låg takhöjd projekteras med förenklad dimensionering och att en alternativ utformning enligt BBR 5:11 innebär att den totala utrymningsbredden sedan minskas samtidigt som taknivån höjs. Detta kan få stora konsekvenser för byggnaders utformning, men innebär även att säkerhetsnivån inom klassen av byggnader kan sänkas ordentligt. Effekterna av detta bör utredas vidare och vägledning eller krav utarbetas, om inte annat för att slippa en oönskad sänkning av säkerheten.

I analysen framkommer att antalet utgångar har stor betydelse för individrisknivån, vilket delvis kan förklaras att antalet utgångar är en funktion av antalet personer i byggnaden som i sin tur är en funktion av arean. Fallen med hög risknivå är uteslutande lokaler med få utgångar i den klass av byggnader som studerats. Ytterligare krav på brandskyddsåtgärder för dessa lokaler bör övervägas.

9.3 Tillämpning vid analytisk dimensionering

Idag saknas kunskap om brandfrekvensen i olika typer av byggnader och sannolikheten för var i byggnaden branden förväntas uppstå. Eftersom dessa data är nödvändiga för att kunna beräkna den sammanvägda risken för flera scenarier är det inte möjligt att formulera ett acceptanskriterium som gäller för en hel byggnad. Om metodiken används för att jämföra två lösningar förutsätts att sannolikheten för brands uppkomst är lika för båda utformningarna av brandskyddet som jämförs.

Variationen i risknivån till följd av osäkerheter i indata för en specifik lokal, d.v.s. variabler i grupp 1, är så stora att riskbedömning av samma objekt utförda av olika personer förväntas skilja mycket. En följd av detta är att otillräckliga lösningar felaktigt kan accepteras och att acceptabla lösningar eventuellt förkastas. Det är då inte lämpligt att specificera en absolut risknivå som acceptanskriterium, om inte tydligare krav ställs på tillvägagångssättet vid verifiering, d.v.s. val av indata, omfattning av analysen, hantering av osäkerhet m.m. Det innebär att begränsningar i hur analytisk dimensionering kan tillämpas, men dessa begränsningar finns inte tydligt klargjorda.

Med tanke på den stora spridningen i risknivå som analysen visar för en klass av lokaler finns behov av att skapa vägledning för hur val av risknivån som ska användas vid verifiering i samband en relativ riskjämförelse bör ske. Annars kan en avsevärd sänkning av säkerheten ske genom att projektören konsekvent väljer den högsta risknivån till följd av förenklad dimensionering att jämföra med.

9.4 Problem vid tillämpning av principer från bärande konstruktioner

Avsaknaden av en vedertagen generell dimensioneringsmetodik vid dimensionering av utrymningssäkerhet har lett till att principer och tillvägagångssätt från andra områden tillämpats i brist på annat. Diskussionen i detta avsnitt inriktas på vissa metod- och värderingsproblem som uppstår när metoder för att dimensionera bärförmågan vid brand tillämpas vid dimensionering av utrymningssäkerhet. Vid dimensionering av bärverk studeras inte den totala risken i samband med exempelvis kollaps till följd av pelarbrott. Konsekvensen definieras inte av antalet personer som skadas eller omkommer till följd av nedfallande byggnadsdelar. I stället har en förenklad dimensioneringsmodell tagits fram som bygger på följande:

1. Ett gemensamt händelsetråd har tagits fram för att beskriva risken för en hel klass av byggnader eller byggnadsdelar.
2. Utifrån detta händelsetråd har förenklingar gjorts och en modell tagits fram som kan tillämpas vid dimensionering. Denna modell är tillräcklig för att kontrollera säkerheten under de förutsättningar som råder för bärande konstruktioner.

Med utgångspunkt från riskbilden för bärande konstruktioner så har ett antal karaktäristiska lastfall (scenarier) identifierats, som antas gälla för alla byggnader. Den konsekvens som studeras i varje scenario är om bärverket, t.ex. en balk, kollapsar eller inte. För varje scenario kan en sannolikhet för att det ska inträffa bestämmas. Denna grova modell är tillräcklig för att kunna ta fram dimensioneringskriterier för byggnadsverket så att personsäkerheten i byggnaden blir acceptabel. En kortfattad beskrivning av dessa principer följer nedan och sedan dras paralleller till dimensionering av utrymningssäkerhet, där förutsättningarna är något annorlunda. För en mer ingående beskrivning av dimensioneringsmetodikerna hänvisas till läroböcker inom området (Thoft-Christensen et al., 1982; Ang et al., 1975).

För varje lastfall beskriver en gränstillståndsekvation om brott sker eller inte. Exempel på lastfall är normal användning av byggnaden, vindlast, snölast men även olika typer av olyckslaster, t.ex. brand, utgör lastfall. Last och bärförmåga beräknas med hållfasthetsberäkningar. I dessa ingår en rad osäkra variabler och genom osäkerhetsanalys går det att bestämma sannolikheten för brott, P_f som ofta uttrycks som motsvarande kvartil i en normalfördelning och kallas då β -värde. P_f påverkas naturligtvis av hur byggnadsdelen dimensioneras. En kraftigare dimension på balken gör att P_f minskar, eftersom bärförmågan ökar. Det finns dessutom en sannolikhet för att varje scenario ska inträffa, t.ex. att det ska börja brinna eller att det ska blåsa ordentligt. Sannolikheten för kollaps kan då beräknas enligt ekvation (22).

$$P_{koll} = P_L \cdot P_f \quad (22)$$

P_{koll} = sannolikheten för kollaps p.g.a. det aktuella lastfallet
 P_L = sannolikheten för att lastfallet ska uppkomma
 P_f = sannolikheten för brott givet lastfallet, d.v.s. brottsannolikhet

Kriteriet för vilken brottsannolikhet som accepteras, $P_{kriterium}$, tas fram genom att sannolikheten för kollaps, P_{koll} , till följd av olika lastfall inte ska vara högre än vad sannolikheten för kollaps är vid lastfallet som motsvarar normalt bruk av byggnaden. Det innebär att för en väldigt ovanlig olycka (lastfall) accepteras en större brottsannolikhet P_f när olyckan väl inträffar eftersom P_L är låg. Dimensioneringskriteriet definieras som en brottsannolikhet P_f för varje typ av lastfall, där hänsyn tas till sannolikheten att lastfallet ska uppstå, t.ex. att lasten överstiger bärförmågan i 0.01% av fallen. Det är viktigt att poängtera att byggnadsdelen ska dimensioneras så att den klarar alla lastfallen, d.v.s. uppfyller att $P_{koll} < P_{kriterium}$.

Tillvägagångssätt innebär att det inte är nödvändigt att analysera konsekvensen när brott väl inträffar, vilket kan verka märkligt eftersom risk tidigare definierats som en kombination av sannolikhet av konsekvens. Förklaringen är att i den förenklade modellen utgörs konsekvensen av om pelaren kollapsar eller ej, d.v.s. konsekvensen kan bara anta två värden. I dimensioneringsbestämmelserna, finns föreskrivet att vid brott är den största acceptabla primärskadan 150m² (BKR, 2003; Albertsson et al., 1982). Blir skadan större finns risk för fortskridande ras vilket är något som inte är acceptabelt under några förutsättningar. Det finns särskilda dimensioneringsbestämmelser för att förhindra detta. Det medför att riskmättet

brottsannolikhet, P_f , till varje lastfall är tillräckligt för att kontrollera den totala risken. Genom att den maximala sannolikheten för kollaps är samma för alla lastfallen kan inte riskbidraget för en olycka överskrida en viss storlek, d.v.s. $P_{koll} < C$, där C motsvarar maximala skadan om 150m² kollapsar. En acceptabel risk har definierats som kan tillämpas vid dimensionering av bärverk, utan att den är angiven i antalet döda, och är säkert en minst lika god uppskattning av vad samhället accepterar som en skada som att uttrycka det som ett visst antal skadade eller omkomna.

Under dessa förutsättningar går det att visa att det inte är nödvändigt att ta hänsyn till väldigt osannolika scenarier (lastfall). Om sannolikheten för att en olycka överhuvudtaget ska uppstå är väldigt liten att det understiger P_{koll} så kan det lastfallet bortses ifrån vid dimensionering. Riskbidraget från ett sådant lastfall är mindre än det maximalt tillåtna riskbidraget för ett lastfall, eftersom $P_L < P_{kriterium}$ och storleken på konsekvensen får fortfarande maximalt vara 150m² vid kollaps. Det innebär att riskbidraget blir mindre än $P_{kriterium} \cdot C$. Med utgångspunkt från denna beskrivning av modellen för kontroll av risk i samband med dimensionering av bärande konstruktioner kommer en genomgång av olika exempel på hur dessa principer och tillvägagångssätt tillämpas vid dimensionering av utrymningssäkerhet. Ett exempel på ett lastfall som inte beaktas är att det blåser väldigt mycket samtidigt som det brinner.

Ovanstående principer kan användas vid dimensionering av byggnadsdelars brandmotstånd, så att sannolikheten för kollaps vid brand inte medför att den acceptabla risknivån överskrids. För en detaljerad redogörelse för dimensioneringsberäkningarna hänvisas till Anderberg et al. (1992). Vidare kan denna metodik användas för att verifiera att tekniska byten i samband med analytisk dimensionering inte medför att risken ökar. Vid installation av sprinkler kan t.ex. brandmotståndet hos konstruktionerna reduceras med behållen säkerhet (Lundin, 2002).

Vid verifiering av personsäkerhet dras ofta paralleller till dimensioneringsmetodikerna ovan, utan att hänsyn tagits till de bakomliggande skillnaderna. Detta är allvarligt eftersom det innebär kan medföra allvarliga vetenskapliga brister i tillvägagångssättet. I följande avsnitt kommer några av dessa skillnader och vad de får för konsekvens att diskuteras.

9.4.1 Funktionskravet i BBR

I BBR 5:361 uttrycks ett funktionskrav som att gränsvärdena för kritiska förhållanden inte får överskridas under den tid som behövs för utrymning. I brist på hur BBR 5:11 ska tolkas eller uttryckas i samband med dimensioneringsberäkningar tillämpas ofta ekvation (23) som ett dimensioneringsuttryck. Det finns åtskilliga problem med denna tolkning.

$$\Delta t = t_{krit} - t_d - t_r - t_f \quad (23)$$

$\Delta t > 0$ används som ett dimensioneringskriterium i en analys av ett enstaka scenario för att avgöra om säkerheten är tillräcklig eller ej. Dimensionerande värden väljs ibland godtyckligt utan kunskap om variabelernas faktiska variation. Det medför att projektören omöjligt kan avgöra vilken säkerhetsnivå ett visst val av indata kommer att medföra.

Ibland beaktas osäkerheterna i detta dimensioneringsuttryck. Då definieras dimensioneringsvillkoret som en viss sannolikhet att gränstillståndet $\Delta t > 0$ inte uppfylls, d.v.s. $P(\Delta t < 0)$. Det innebär att med viss sannolikhet accepteras att tiden för att utrymma inte räcker till i ett scenario, ungefär på samma sätt som det accepteras att det finns en liten sannolikhet att bärande konstruktioner kollapsar. Till skillnad från dimensionering av bärande konstruktioner

leder detta tillvägagångssätt inte till att den totala brandrisken kontrolleras vid dimensionering av utrymningssäkerhet. I följande avsnitt presenteras några av anledningarna:

- Att definiera konsekvensen i form av en tidsmarginal.
- Att studera en viss andel av scenarierna.
- Att använda ett scenario för att värdera totala risken.
- Avsaknaden av väldefinierade lastfall.

9.4.2 Att definiera konsekvensen med en gränstillståndsekvation

I samband med konstruktioner innebär ett överskridande av brottgränsen en kollaps. Konsekvensen blir den samma oavsett hur mycket lasten överstiger bärförmågan och konsekvensen kan beskrivas med enbart två tillstånd, d.v.s. antingen så bibehålls bärförmågan eller så sker brott. Givet att det rasar så finns krav på att maximalt en yta av 150m² får kollapsa till följd av primärskadan. I brandfallet är det lite mer komplicerat. Att använda tidsmarginal som kriterium fungerar bra för de fall då det är rimligt att kräva att alla ska hinna ut, men ger en dålig bild av vad konsekvensen blir i de fall då alla inte hinner ut. Är detta något som måste beaktas? Finns det fall där det måste accepteras att en eller flera personer påverkas av kritiska förhållanden? Svaret är ja på båda frågorna. Ett brandskydd som innebär att ingen person utsätts för kritiska förhållanden oavsett vilket scenario det rör sig om är alltför kostsamt och innebär en orimlig begränsning av användning och utformningen av byggnaden. Det innebär ändå att det är nödvändigt att begränsa skadan i de fall då någon eller några personer inte hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår. Om tiden till kritiska förhållanden är kortare än utrymningstiden är det inte differensen i tid, utan hur många det drabbar, som är av intresse. Vad t.ex. 2 minuter för kort tid innebär i antal drabbade varierar mellan olika byggnader beroende på hur utrymningsförloppet ser ut. För att bedöma storleken av riskbidraget från ett scenario är det lämpligt att studera hur många som drabbas, eftersom det endast är om någon påverkas av kritiska förhållanden som scenariot utgör ett riskbidrag. Att enbart studera tidsskillnaden är därför i många fall otillräckligt för att kunna uttala sig om den totala risken och när jämförelser ska göras där utrymningsförloppet påverkas. Det innebär att den tolkning av funktionskravet i BBR 5:36 som ofta används vid verifiering bör ifrågasättas.

9.4.3 Att använda ett scenario för att värdera hela risken

Anledningen att den totala risken inte kan mätas genom att studera riskbidraget från ett scenario är att det inte finns ett tillräckligt starkt samband mellan riskbidraget från ett enskilt scenario och det totala riskbidraget från alla scenarier. Sannolikheten för scenarierna beror av tillförlitligheten hos de olika skyddssystem som ingår. Det är fritt fram för projektören att välja typ av skyddssystem. Tillförlitligheten, och därmed sannolikheten för de olika scenarierna, varierar mellan olika typer av skyddssystem. Faktorer som påverkar är kvalitet, drift & underhåll och rätt utförd dimensionering. Hur konsekvensen påverkas av om ett skyddssystem fungerar eller ej beror helt av skyddssystemets faktiska effekt på brand och utrymningsförlopp och förväntas variera mycket mellan olika typer av lösningar och lokala förutsättningar. Att det skulle finnas några förutbestämda relationer mellan konsekvenserna i olika scenarier, t.ex. att "single source failure" scenarier motsvarar 1/10 av konsekvensen i ett "worst case" scenario finns inget stöd för.

I ekvation (24) ställs sambandet upp för att beräkna medelrisken för ett enkelt exempel där det finns fyra möjliga utfall (scenarier) givet att brand uppstår.

$$E(R) = \sum_{i=1}^4 (p_i \cdot c_i) = p_1 \cdot c_1 + p_2 \cdot c_2 + p_3 \cdot c_3 + p_4 \cdot c_4 \quad (24)$$

Att c_1 , c_2 , c_3 och c_4 är oberoende verkar rimligt eftersom de representerar konsekvenserna i helt olika scenarier. Skillnader mellan dessa är t.ex. om olika skyddsåtgärder fungerar eller inte. Att skatta den totala risken baserat på enbart en av konsekvenserna, se ekvation (25), och att begränsa den totala risken genom att ta fram acceptanskriterier enbart för c_3 är i så fall inte möjligt.

$$f(c_3) \approx E(R) \quad (25)$$

Känslighetsanalysen, se kapitel 6, visar att även inverkan av olika variabler varierar mycket beroende på vilket scenario som studeras. Personantalet och motsvarande dörrbredd enligt förenklad dimensionering (variabel 2_6) har ganska liten inverkan på konsekvensen i scenariot då allting fungerar, men en mycket stor inverkan på konsekvensen då ingenting fungerar (worst case). Det samma gäller för flera andra variabler, t.ex. personflödet genom utrymningsvägarna. Att uttala sig om säkerhet baserat på ett enda scenario blir därmed inte trovärdigt. Det stärker misstankarna om att brandskyddet mot allvarliga händelser riskerar att förbises om enbart några få scenarier studeras i de fall den totala risken representeras av ett flertal scenarier.

9.4.4 Att studera en viss andel av scenarierna

En målsättning för att spara tid vid verifiering är att reducera antalet scenarier som behöver analyseras. Exempel på metodik är att bestämma att det är tillräckligt att värdera riskbidraget för en viss andel av det totala antalet scenarierna. Ursprunget till detta tillvägagångssätt är oklart, men gissningsvis har det att göra med det faktum att en viss sannolikhet för kollaps accepteras i lastfallen vid dimensionering av bärande konstruktioner. En vågad tolkning av detta kan innebära att om säkerheten värderas för 95% av scenarierna så är säkerheten acceptabel. Förhoppningen finns dessutom att ett enda dimensionerande scenario ska kunna utses som ska utgöra eller representera det scenario som ligger precis på 95% gränsen, så att det vid verifiering räcker med att studera enbart detta för att visa att 95% av fallen täcks in.

Vid modellering av brandrisk enligt föreslagen metodik blir strukturen på händelseträdet olika från objekt till objekt, beroende på vilka skyddssystem som används och vad som påverkar händelseförloppet. Det innebär att det inte går att identifiera ett specifikt scenario som kan identifieras i alla byggnader. Det skulle i så fall vara värsta fallet (the worst case scenario). Att använda ett "single source failure" scenario är också tänkbart, men sannolikheten för ett sådant scenario är beroende av skyddssystemens tillförlitlighet och den är olika för olika skyddssystem.

Även om ett scenario som representerar en viss andel av scenarierna kan identifieras så ger det ingen uppfattning om den totala riskens storlek. Om ett scenario representerar 95% av de möjliga scenarierna så är det fortfarande omöjligt att avgöra hur stor del av den totala risken som utgörs av resterande 5% av scenarierna. Projektören kan inte kontrollera den totala risken genom att studera 95% av fallen. Storleken på konsekvensen hos de scenarier som väljs bort är okänd och varierar med en mängd olika variabler, se t.ex. känslighetsanalysen. Om konsekvensen är 1, 10 eller 1000 skadade eller omkomna bör rimligen ha en betydelse för om säkerheten ska anses vara acceptabel eller inte. För bärande konstruktioner är konsekvensen den samma för de olika scenarierna, så risken kan kontrolleras genom att dimensionera för en viss andel av scenarierna. Sannolikhet att flera olyckslaster uppträder samtidigt är så låg att det inte nödvändigt att dimensionera för detta scenario. Eftersom konsekvensen är känd så finns kontroll över hur stort riskbidraget blir från detta scenario genom att sannolikheten kan

beräknas. Vid riskanalys i samband med dimensionering av utrymnings säkerhet varierar konsekvensen mellan de olika scenarierna och därför kan inte scenarier förbises med argumentet att det är låg sannolikhet för att de ska uppkomma. Det är nödvändigt att analysera hur stor konsekvensen blir innan det går att bedöma om riskbidraget från ett scenario är stort eller litet, d.v.s. om risken är acceptabel eller ej. Annars kommer utrymnings säkerheten i byggnader där analytisk dimensionering använts variera väldigt.

9.5 Förslag på fortsatt arbete

Under projektet har utvecklingsbehov identifierats hos de båda dimensioneringsmetoderna; förenklad dimensionering och analytisk dimensionering, samt hos den riskanalysmetod som används för att kvantifiera brandrisken för att skapa underlag för verifiering.

9.5.1 Utveckling av förenklad dimensionering

Behovet av den förenklad dimensionering är stort. Trots att analytisk dimensionering har utvecklats mycket de senaste åren har en rad metodproblem uppmärksammats, vilka begränsar möjligheten att använda metoden och leder till stor variation i kvalitet när analytiska lösningar verifieras. Dessutom finns ingen annan trovärdig värderingsgrund för att avgöra om en analytisk lösning är acceptabel eller inte, än att jämföra med brandsäkerheten som förenklad dimensionering medför.

Samtidigt har det framkommit att risknivån i förenklad dimensionering varierar mycket inom en ganska begränsad klass av lokaler. Det finns behov av att diskutera om denna stora variation i nivå är acceptabel eller inte. Analysen visar att det finns lokaler där risknivån är avsevärt mycket högre än genomsnittet. Om risknivån vid förenklad dimensionering inte kan användas för att definiera en acceptabel risk vid analytisk dimensionering blir byggreglerna inkonsekventa, d.v.s. beroende på vilken dimensioneringsmetod som används skiljer sig kraven på säkerhet för att uppfylla samma mål.

Något som pekar på ett behov av en genomgång av förenklad dimensionering är att medelrisken i vissa lokaler är flera tiopotenser högre än medelvärdet för klassen. Om detta inte är acceptabelt bör en reduktion av spridningen kring medelvärdet eftersträvas. Dessutom kan det vara befogat att minska kraven på skydd för de lokaltyper där risken är låg. Om en förändring av förenklad dimensionering utförs med avsikten att förbättra säkerheten i lokalerna med högst risk, kan det leda till för mycket brandskydd i de lokaler som har ett lagom skydd. Därför kan inte dimensioneringsmetoden ändras urskiljningslöst.

Förenklad dimensionering behöver utvecklas i takt med att förutsättningar ändras och behovet av att uppföra nya typer av byggnader ökar. En del detaljlösningar börjar dessutom bli omoderna och förlegade. Förutsättningarna för att detaljlösningarna ska vara giltiga är inte längre självklara. Ett exempel är äldreboende där vårdpersonalen organiseras i centrala ”pooler”, som servar flera verksamheter, i stället för att vara stationerade på respektive avdelning. Förutsättningarna för en trygg utrymning förändras väsentligt eftersom antalet personal på plats som kan assistera blir betydligt färre.

Om inte förenklad dimensionering utvecklas måste en tydligare beskrivning av vad som avses med acceptabel risk preciseras i BBR, så att nya byggnader kan uppföras utan att säkerheten urholkas. Utvecklingen av dimensionering av utrymnings säkerhet har inte ännu nått så långt att detta är möjligt. Idag satsas mycket begränsat med resurser inom detta område, men

mindre uppdateringar har skett genom rapporten "Utrymningsdimensionering" (Boverket, 2004).

I andra länder sker en fortlöpande utveckling och anpassning av förenklad dimensionering (BSI, 2000). En sådan process är nödvändigt för att kunna använda förenklad dimensionering vid nya byggnadstyper och för att kunna hantera förändrade förutsättningar i samhället som påverkar brandskyddet. Utvecklingen av förenklad dimensionering har avstannat i Sverige sedan flera år tillbaka. Detta är olyckligt, speciellt inte med tanke på de kvalitetsproblem som uppmärksammats i samband med analytisk dimensionering (Lundin, 2001; PBL-kommittén, 2004). Dessutom verkar det finnas behov av en revidering av den befintliga förenklade dimensioneringsmetodiken mot bakgrund av resultaten från denna studie.

9.5.2 Utveckling av analytisk dimensionering

Variationen i omfattning och tillvägagångssätt vid riskanalys i samband med verifiering är stor. Det är svårt att strukturera en uppsättning scenarier som är relevanta att studera för varje objekt och alla lösningar. Att specificera generella krav på vad verifieringen ska innehålla eller vilken metod som är lämplig för att värdera säkerheten är också svårt. Därför är det nödvändigt att projektören som utför verifieringen analyserar vilka krav som bör ställas på verifieringen för att den faktiskt ska visa att säkerheten är minst lika bra eller bättre. Denne måste styrka varför det är tillräckligt att titta fallet då allting fungerar, "single source failure" och "worst case" med utgångspunkt från hur totalrisken påverkas.

Att kvantifiera risken för en klass av byggnader är ett sätt försöka ta fram kvantitativa kriterier att verifiera mot, vilket medför att en relativ jämförelse inte är nödvändigt. Det är önskvärt för att spara tid genom att inte behöva använda förenklad dimensionering för att definiera vad som är acceptabel risk. Dessutom saknas detaljlösningar eller allmänna råd att verifiera mot för vissa nya typer av byggnader.

För att kunna skapa principer och förenklade modeller med dimensioneringskriterier krävs att de betydande osäkerheterna är kända och kan kontrolleras. Risken måste kartläggas så att ett systematiskt sätt att hantera osäkerheterna vid dimensionering kan tas fram. I dagsläget är bedömningen att denna kunskapsnivå inte finns upparbetad inom området utrymnings säkerhet och att de principer och tillvägagångssätt från andra områden tillämpas måste kritiseras. Därför finns ett behov av exempelvis att kartlägga hur riskbilden i en lokal påverkas av om den utnyttjas till olika aktiviteter. Det kan t.ex. vara en sporthall där olika typer av idrotts-evenemang, mässor, filmvisning, diskotek eller övernattning förekommer. Variabler som persontäthet och beslut och reaktionstid skiljer markant mellan flera av dessa aktiviteter och kommer påverka risknivån i byggnaden. I detta arbete studeras variationen inom en klass av byggnader till följd av förenklad dimensionering. I en fortsatt studie vore det lämpligt att undersöka hur variationen i risknivå påverkas av olika tekniska byten. Det innebär att effekten på risknivån av olika skyddssystem utvärderas. Baserat på sådana studier finns möjlighet att ta fram dimensioneringsprinciper och acceptanskriterier.

Typscenarier

För det fortsatta arbetet med att utveckla en verifieringsmetodik så behöver riskanalysmetodiken vidareutvecklas. Ett förslag till metodutvecklingen är att skapa dimensionerande typscenarier som kan representera en hel grupp av scenarier. Om sannolikheterna för typscenarier kan bestämmas går det att analysera risknivån givet brand, där riskbidragen vägs samman.

Nyttofunktion

Ett annat område där det finns behov av ytterligare utveckling är hur riskvärdering skall utföras. Vid värdering av risk kan olika vikt läggas vid stora och små konsekvenser beroende på vilken riskattityd en beslutsfattare har. När medelrisk används för att rangordna lösningar förutsätts beslutsfattaren (d.v.s. samhället) vara riskneutral. Mycket pekar på att stora olyckor bör värderas som en högre risk än vad medelrisken visar. Det innebär att stora olyckor värderas enligt en progressiv nyttofunktion. För att bättre avspegla samhällets riskvärdering borde hänsyn tas till detta. En nödvändig del i en sådan analys är att studera olika metoder att bestämma en lämplig nyttofunktion samt att tillämpa denna. Det innebär att samhällets preferenser när det gäller acceptabel risk och ”trade-off” mellan sannolikhet och konsekvens undersöks. För att bättre avspegla beslutsfattarens preferenser och ta hänsyn till dessa vid riskvärdering kan en s.k. nyttofunktion användas. I riskanalysmetodik finns goda förutsättningar att tillämpa nyttofunktioner och ett sådant utvecklingsarbete bör ske parallellt med att typscenarier skapas.

Metodik

Idag en sådan vedertagen metodik och på det sätt som verifiering utförs kännetecknas den av en mängd olika metoder och tillvägagångssätt, varav många kan ifrågasättas. När säkerhet ska värderas i samband med brandteknisk riskanalys kan inte samma principer användas som i de dimensioneringsmetoder som används vid dimensionering av bärande konstruktioner. Förutsättningarna vid risk för kollaps och risk att exponeras för brand- och brandgas är olika. För att kunna ta fram analytiska dimensionerings- och verifieringsmetoder måste dessa förutsättningar kartläggas. Sedan kan metoder utvecklas.

Indata

Kunskapen om faktorer som påverkar sannolikheten för olika typer av brandscenarier är bristfällig. Utredningar har gjorts som visar på sambandet mellan area, verksamhetstyp och brandfrekvens (Rutstein, 1979), men dessa undersökningar är gamla och det är oklart hur väl de speglar svenska förhållanden. Det finns ett behov av att kartlägga vilka bakomliggande faktorer som påverkar t.ex. sannolikheten i intilliggande utrymme. Kunskap saknas även om area- och höjdberoendet hos flera andra variabler, t.ex. detektions och reaktionstid. Utrymningsförloppet kan skilja mellan stora och små lokaler, men har inte beaktats i analysen.

Acceptanskriterier

För att kunna tillämpa resultaten från denna studie vid analytisk dimensionering är det nödvändigt att konstatera om den risknivån som kartlagts vid användningen av förenklad dimensionering är acceptabel eller inte. Om målsättningen är att ha en jämn risknivå i byggnader av samma typ, t.ex. samlingslokaler, är det nödvändigt att inkludera variabler av grupp 2 som har stor inverkan på risken i dimensioneringsuttrycken. Dessutom måste variationen för variabler av grupp 1 kartläggas för respektive byggnadstyp. Med sådan information går det att ta fram dimensionerande värden. Med hjälp av dimensioneringsuttryck och dimensionerande värden går det att bestämma acceptanskriterier som motsvarar en given risknivå.

Vägledning och krav

En trovärdig och enkel metodik måste bli tillgänglig för att värdera om en lösning är acceptabel eller inte i samband med analytisk dimensionering. Å ena sidan kan det bli kontraproduktivt om man ”analyserar ihjäl” en sprinkler men samtidigt kan konsekvenserna bli ödesdigra om projektören bortser från det fall då den inte fungerar. Det är oklart vad kraven i BBR innebär i praktiken.

En projektör får svårigheter att reda ut frågor som:

- Hur långt får gränserna tänjas, d.v.s. hur mycket är det tillåtet att förändra en byggnads traditionella brandskydd?
- Hur ska scenarier väljas för att ge ett tillräckligt underlag för att värdera hur den totala säkerheten påverkas vid en relativ jämförelse?
- Hur omfattande analys krävs i ett specifikt fall?
- Hur går det att avgöra om en beräkningsmodell på ett tillfredsställande sätt beskriver aktuellt fall?

Från myndigheternas sida verkar förhoppningarna finnas att det räcker med att tillämpa god ingenjörskonst för att lösa dessa problem. Det har visat sig vara en alltför naiv inställning. Projektörer och kontrollanter gör så gott de kan, men de har begränsade resurser och frågorna är inte enkla att besvara. Tydligare riktlinjer vore värdefullt och även tydligare begränsningar för dimensioneringsmetodiken.

9.6 Reliabilitet och validitet

En hel del antaganden och förenklingar har varit nödvändiga i analysarbetet. I detta avsnitt redogörs för vissa av förenklingarna och hur det påverkar resultatet.

9.6.1 Organisatoriska faktorer

En stor begränsning i den riskanalysmodell som utvecklats är att effekten av organisatoriska åtgärder och förhållanden, t.ex. utbildning, övning och rutiner, är svåra att modellera. Dessa faktorer har ofta stor potentiell påverkan på många variabler i riskanalysmodellen. Exempelvis bör sannolikheten för att brand släcks manuellt öka om rätt släckutrustning finns på plats, att den underhålls och att personalen är utbildad. Sannolikheten för brands uppkomst kan också påverkas av organisatoriska faktorer. Finns någon form av tillbudsrapporteringssystem ökar möjligheterna att identifiera och åtgärda potentiella olyckor. Denna typ av åtgärder är viktiga och har en stor inverkan på den totala risken. Det är därför viktigt att inse behovet av komplement till den rent byggnadstekniska riskanalysen vid dimensionering. Annars finns en fara i att viktiga åtgärder som har stor riskreducerande effekt väljs bort p.g.a. att de inte uppmärksammas i beräkningarna.

9.6.2 Modellerings tekniskt

En rad antaganden och förenklingar har varit nödvändiga för att skapa riskanalysmodellen och utföra riskberäkningarna. Exempel på sådana är:

- Utrymningsförloppet är starkt förenklat.
- Underventilerad brand modelleras med en två-zonsmodell.
- En två-zonsmodell har använts till en relativt stor lokal.
- Beräkningsresultaten är beroende på det val lokal som gjorts. Målsättningen har varit att välja en lokal som är allmängiltig och karaktäriserar många olika typer av lokaler. Det medför att resultaten blir mer generaliserbara, samtidigt som vissa detaljer förbises.
- Utformningen av byggnaden har gjorts utan att olika önskemål konkurrerar, d.v.s. någon arkitektonisk eller funktionell hänsynen behöver inte tas.

-
- Känslighetsanalysen av de variabler som har störst påverkan har enbart utförts på typbrand 2 och antagande har gjorts att de variabler som reducerats från osäkerhetsanalysen även har marginell inverkan på typbrand 1.
 - I brist på data har vissa variabler och samband grundats på bedömningar.

Dessa antaganden grundar sig på subjektiva val hos utföraren, d.v.s. författaren till rapporten, men en rad åtgärder har gjorts för att värdera deras inverkan på resultaten. Särskilda utredningar har utförts för att visa på konsekvenserna av antaganden, se Bilaga B och D. En del presenteras i bilagorna med andra framgång av känslighetsanalysen. När antaganden och förklaringar gjorts har dessa presenterats och tankegången och motiven har redovisats.

9.6.3 Värdering av risk

En begränsning som det innebär är att det blir svårt att modellera effekten på risken av att variera en variabel som påverkar sannolikheten för brands uppkomst, t.ex. arean. För en stor lokal bör en högre medelrisk vara tillåten än för en liten. Däremot bör individrisken vara den samma, d.v.s. sannolikheten att dö ska inte öka beroende på vilken typ av samlingslokal som besöks.

Vilket riskmått som ska beräknas för att bäst avspeglar samhällets värderingar (preferenser) när det gäller brandrisk är inte självklart. Hur vi värderar en stor skada med låg sannolikhet jämfört med en liten skada med hög sannolikhet eller flera mindre skador än en stor är oklart. Hur dessa typer av olyckor värderas avspeglar vilken riskattityd beslutsfattaren har. I analysen används medelrisken som riskmått vilket förutsätter att riskattityden är riskneutral. Mycket som talar för att det inte överensstämmer med hur samhället värderar risk, men hur ska katastrofer värderas i samband med dimensionering? Ska scenarier med stora konsekvenser värderas på samma grunder som övriga scenarier, d.v.s. baserat på riskbidraget, eller är det så att vi värderar katastrofer som ännu värre än vad riskbidraget visar? Hur ska då risken för en stor olycka begränsas genom dimensioneringskriterium? Ska en begränsning sättas för hur stora skador som maximalt kan tillåtas oavsett sannolikheten för uppkomst? Är det rimligt att basera denna skada på ett worst-case scenario när de allmänna råden följs? Vid dimensionering är det idag oklart vilket "trade-off" mellan sannolikhet och konsekvens som är acceptabelt. Det innebär en begränsning i hur analytisk dimensionering kan tillämpas och mycket kvarstår att utreda.

Vid jämförelsen av riskmått i den här analysen är det inte hur risk värderas som studeras utan hur mycket information om risken som fås från olika riskmått. Det ger underlag för att dra slutsatser om de olika riskmåttens lämplighet som beslutsunderlag för att värdera risken.

10 Slutsatser

Resultaten från projekt ska ses som en del i ett långsiktigt arbete att skapa en metodik för att dimensionera utrymnings säkerhet så att en acceptabel risknivå kan säkerställs och att kraven i BBR därmed uppfylls. Vid värdering av risk måste det vara möjligt att skilja bra lösningar från dåliga och att identifiera otillräckliga lösningar. Det är inte rimligt att valet av riskanalysmetod eller omfattning av analysen ska avgöra om en lösning är acceptabel eller ej. Kvaliteten på själva brandskyddslösningen måste vara det som styr. I detta projekt har en rad slutsatser dragits i samband med framtagandet av underlag till en sådan verifieringsmetodik. Bland annat har konsekvensen av att använda olika typer av riskmått studerats, risknivån i förenklad dimensionering för en klass av byggnader har kartlagts samt riskbidraget från allvarliga bränder analyserats. Slutsatserna från arbetet presenteras nedan:

- Riskbidraget från allvarliga bränder är påtagligt och kan påverkas vid en förändring av brandskyddet eller ändring av byggnadens utformning. Vid verifiering av att kraven i byggreglerna efterlevs är det nödvändigt att det är hur den totala risken påverkas som måste vara utgångspunkten för riskbedömningen. Det innebär att det är nödvändigt att värdera alla scenarier vars riskbidrag påverkas i samband med analytisk dimensionering, för att kunna uttala sig om den totala risken blivit högre eller lägre. Ofta förbises bränder till följd av lite allvarligare händelser och scenarier som uppkommer då tekniska system inte fungerar.
- Analysmetodiken som presenteras kan användas både för att kartlägga risknivån i en klass av byggnader och för ett enskilt objekt. Risknivån som studeras innefattar både scenarier där tekniska system inte fungerar och scenarier till följd av allvarliga händelser. Dessutom kan inverkan av olika typer av osäkerheter på risknivån studeras.
- En kombination av riskmåten individrisk och samhällsrisk har introducerats för att komma tillrätta med de analys- och värderingsproblem som uppmärksammats vid analys av principer och tillvägagångssätt från andra områden.
- Det saknas acceptanskriterier att använda vid analytisk dimensionering. En relativ jämförelse med förenklad dimensionering är idag det tillvägagångssätt som bäst bedöms återspegla samhällets uppfattning om vad som är acceptabel risk. För att utveckla analytisk dimensionering och ta fram acceptanskriterier behöver en metodik för riskvärdering utvecklas samt kunskapen om sannolikheten för brands uppkomst förbättras avsevärt.
- Risknivån till följd av förenklad dimensionering varierar mycket för den typ av samlingslokaler som studerats. Osäkerhetsanalysen visar att individrisken är väsentligt mycket högre i små lokaler med låg takhöjd än i stora lokaler. Dessutom visar sig antalet dörrar ha en påtaglig effekt på säkerheten i dessa lokaler. Om en jämn säkerhetsnivå eftersträvas för byggnader av samma typ är en utveckling av förenklad dimensionering nödvändig. För vissa av lokalerna bedöms risknivån vara så hög att det måste ifrågasättas om detta verkligen är acceptabelt. Om risknivån vid förenklad dimensionering inte kan användas för att definiera en acceptabel risk vid analytisk dimensionering blir byggreglerna inkonsekventa. Det skulle medföra att beroende på vilken dimensioneringsmetod som används skiljer sig kraven på säkerhet för att uppfylla samma mål. Eftersom båda metoderna kan användas för att uppfylla samma mål-

sättning (kraven i BBR) är det inte önskvärt med en stor skillnad i säkerhetsnivå beroende på vilken metod som används.

- En revision av förenklad dimensionering förefaller vara nödvändig, både för att se över risknivån till följd av förenklad dimensionering, men även för att skapa ett godtagbart underlag för riskvärdering i samband med analytisk dimensionering.
- Om förenklad dimensionering skall ändras för att förbättra säkerheten i de lokaler med högst risk kan det leda till ett onödigt konservativt skydd i de lokaler som idag har ett lagom skydd. Därför går det inte urskiljningslöst att ändra dimensioneringsmetoden. Innan en förändring sker bör en konsekvensutredning utföras. I rapporten presenteras olika metoder att förändra förenklad dimensionering med och hur effekterna på säkerheten av förändringar kan analyseras.
- Dimensioneringsprinciper från andra områden, exempelvis bärande konstruktioner, tillämpas ibland okritiskt vid dimensionering av utrymningssäkerhet, men har visat sig vara otillräckliga för att leva upp till kraven på verifiering i BBR. Förutsättningarna är annorlunda och en dimensioneringsmetodik där dessa skillnader beaktas måste utvecklas för att säkerställa kvalitén på brandskyddet.
- Dagens tillvägagångssätt vid riskvärdering i samband med analytisk dimensionering kan leda till en högre risk och ännu större spridning i säkerhetsnivå för en och samma byggnadstyp jämfört med förenklad dimensionering. Därför måste arbetet med att ta fram en dimensioneringsmetodik för utrymningssäkerhet med analytiska metoder fortsätta. Denna process innebär omfattande kartläggnings och utredningsarbete. Detta projekt är ett steg på vägen, där metodik utvecklats och exemplifierats.
- En viktig uppgift för projektören är att avgöra behovet av riskanalys, t.ex. när det gäller omfattning och komplexitet, för att ge en rättvisande bild av hur risken påverkas. Detta kräver kompetens, erfarenhet av analys och god kunskap om riskanalysmetoderna. Det går inte att ersätta denna kunskap med en enkel checklista.
- Tydligare riktlinjer måste tas fram för att värdering av risk i samband med verifiering ska ske på ett tillfredställande sätt och så att kvalitén i byggnadstekniskt brandskydd kan säkerställas.
- Grova fel och extrema händelser är inte lämpliga att hantera med analytisk dimensionering. Dessa hanteras i stället med andra typer av åtgärder, t.ex. systematiskt brandskyddsarbete.

Om ambitionen finns att förändra förenklad dimensionering så att risknivån sänks rekommenderas följande:

- Automatisk detektion av brand i intilliggande utrymmen till samlingslokaler.
- Begränsa personantalet i samlingslokaler eller dimensionera för det antal som maximalt kan nyttja lokalen.
- Höj säkerheten i små lokaler med låg takhöjd, t.ex. genom att kräva fler utgångar eller genom andra skyddsåtgärder som kopplas till lokalens volym.

11 Referenser

Albertsson, Å, Bernander, K-G., Engström, B., Glemberg, R., Kärrholm, G., Losberg, A. & Sahlin, S. Betongkonstruktioners dimensionering för undvikande av fortskridande ras – Del 1, Konstruktionsteknik – Betongbyggnad, Chalmers tekniska högskola, 1982.

AML, Arbetsmiljölagen, (SFS 1977:1160)

Anderberg, Y. & Pettersson, O. Brandteknisk dimensionering av betongkonstruktioner, Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1992.

Ang, A.H-S. & Tang, W.H. Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume 1 - Basic Principles. John Wiley & Sons, New York, 1975.

Angerd, M. Är utrymningschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?, Rapport 5028, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, 1999.

BBR, Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19.

BKR, Boverkets Konstruktionsregler, BFS 1998:39, med ändringar till och med BFS 2003:6.

Boverket, Utrymningsdimensionering, Karlskrona, 2004.

Boverket, Utvärdering av ändringar i byggregleringen: Brand. Rapport 1997:9, Boverket, Karlskrona, 1997.

Boverket, Bygglag, Tillsyn och Kontroll, Kompendium om förändringarna i plan- och bygglagstiftningen 1995, Karlskrona, 1995.

Brandskyddshandboken, Rapport 3117, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2002.

BSI Draft for public comment BS 9999-2: Code of Practice for fire safety in the design, construction and use of buildings. British Standards Institution, London 1997.

BSI Draft for development DD 240: Fire safety engineering in buildings. Part 1: Guide to the application of fire safety engineering principles. British Standards Institution, London 1997.

BVF, Förordning (SFS 1994:1215) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. med ändringar t.o.m. SFS 1997:1240, 1997.

BVL, Lag (SFS 1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. med ändringar t.o.m. SFS 1994:1589, 1994.

Buchanan, A. Modelling Post-Flashover Fires with FastLite, J. of Fire Protection Engineering, (3), 1998.

CPQRA, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

Delin, M. Skyskrapan brinner - brandförsök med glasfasader, Bygg & Teknik, september 2000.

Drysdale, D. An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley & Son Ltd. 1992.

Edstam, A. & Söderström, P. Beräkningsmodeller för övertändning och förbränningsprodukter - En utvärdering, Rapport 5010, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1998.

Ek, Å., Människa, teknik, organisation och risk, Bilaga Säkerhetskultur, Kurslitteratur till kursen MTOR vid Avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi, Lunds tekniska högskola, Lund, 2002.

-
- Evans, A.W. & Verlander, N.Q. What Is Wrong with Criterion FN-Lines for Judging the Tolerability of Risk? *Risk Analysis*, Vol.17, No.2., 1997.
- FEG - Fire Engineering Guidelines – Review Draft September 2000, Fire Code Reform Centre, Sydney, 2000.
- Fitzgerald, R.W. An Engineering Method for Building Fire Safety Analysis, *Fire Safety Journal*, Vol 9., 1995.
- Frantzich H. Tid för utrymning vid brand P21-365/01, Räddningsverket, Karlstad, 2001.
- Frantzich H. Uncertainty and Risk Analysis in Fire Safety Engineering. Rapport 1016. Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1998.
- Frantzich, H. & Lundin, J. Riskbaserad brandteknisk dimensionering. Slutredovisning av projektet “Dimensionering efter beräknad risk”. Rapport 3112, Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 2000.
- Grimwall, G., Jacobsson, P. & Thedéen, T. Risker i tekniska system, Utbildningsradions förlag, Stockholm, 1998.
- He, Y., Fernando, A. & Luo, M. Determination of interface height from measured parameter profile in enclosure fire experiment, *Fire Safety Journal* 31, 1998.
- Hybring, J. Systematiskt säkerhetsarbete inom äldreomsorgen - Applicering av Tryggve på äldreboendet Ekdalagården, Härryda kommun, Rapport 5131, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2003.
- IAEA, International Atomic Energy Agency. Evaluating the Reliability of Predictions made using Environmental Transfer Models. Safety Series No. 100, Vienna, 1989.
- Johnson, W. MORT – The Management Oversight and Risk Tree Analysis. Technical Report SAN 8212. Washington: US Atomic Energy Commission.
- Jones, W., Forney, G., Peacock, R. & Reneke, P. A technical reference for CFAST: An engineering tool for estimating fire and smoke transport, Technical note 1431, National Institute of Standards and Technology, USA, 2000.
- Jönsson, R. & Lundin, J. Fire Safety Design Based on Risk Assessment, *Fire Science & Technology*, Vol 20 No. 1 pp. 13-25, 2000.
- Kaplan, S. & Garrick, B.J. On The Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, Vol. 1, No. 1, pp11-27, 1981.
- Kristiansson, G. On Probabilistic Assessment of Life Safety in Buildings on Fire. Faculty of Engineering, University of Iceland and Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Report 5006, 1996.
- LSO, Lag om skydd mot olyckor (SFS 2003:778)
- Lundin, J. A Simple Model to Determine the Need for Design Review, Proc. from the 5th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Engineering, Society of Fire Protection Engineers, Luxembourg, 2004. (*Accepted for publication.*)
- Lundin, L. Development of a Framework for Quality Assurance of Performance-Based Fire Safety Designs. *Journal of Fire Protection Engineering*, SFPE, 2004. (*Accepted for publication.*)
- Lundin, J. Reduktion av krävt brandmotstånd hos bärande konstruktioner vid installation av sprinkler, Rapport 7015, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2002.

-
- Lundin, J. Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering, Rapport 3122, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2001.
- Lundin, J. & Johansson, H. A Risk-based Approach to Verification of Fire Safety Design Solutions, Fire Science and Technology, Vol.22, No.1, 2003.
- Magnusson, S.E., Frantzich, H. & Lundin, J. Slutredovisning från projekten Brandteknisk dimensionering baserad på beräkning (SBUF) och Funktionsbaserad brandteknisk dimensionering (Brandforsk), Rapport 3093, Inst för brandteknik, Lunds universitet, Lund 1997.
- Magnusson, S.E., Frantzich, H., Harada, K. Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification. Report 3078, Dept. of Fire Safety Eng., Lund University, Lund 1995.
- Mattsson B. Riskhantering vid skydd mot olyckor - problemlösning och beslutsfattande. Räddningsverket, Karlstad, 2000.
- McGrattan, K.B., Forney, G.P., Floyd, J.E., Hostikka, S. & Prasad, K. Fire Dynamics Simulator – User’s guide, National Institute of Standards and Technology, USA, 2002.
- NFPA, Fire safety in assembly occupancies, <http://www.nfpa.org/>, National Fire Protection Association, 2004-07-06, 2004a.
- NFPA, Guide for Evaluation of Fire Risk Assessments, 2004 Edition, Quincy, 2004b.
- Olsson, F. & Frantzich, H. Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer, Report 3107, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, 1999.
- PBL 1987:10, Plan och bygglagen.
- PBL-kommitténs minnesanteckningar från seminarium 3/3 2004, M 2002:05, <http://www.sou.gov.se/pbl/>, 2004.
- Palisade Corporation. @RISK, User’s Guide. 1996.
- Palisade Corporation. Precision Tree, User’s Guide. 1997.
- Paté-Cornell, M.E., Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment, Reliability Engineering and System Safety Vol.54, pp 95-11, 1996.
- Ramsberg, J. Are all lives of equal value? – studies on the economics of risk regulations, Center for Risk Research, Stockholm School of Economics, Stockholm, 1999.
- Rasmussen, J. Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem, Safety Science 27/2-3, 1997.
- Rutstein, R. The estimation of the fire hazard in different occupancies, Fire Surveyor, Vol.8, No.2., 1979.
- Sandberg, A. Unannounced evacuation of large retail-stores - An evaluation of human behaviour and the computer model Simulex, Rapport 5009, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1997
- SBF, Intern brandskyddskontroll. Svenska brandförsvarsföreningen, 1995.
- SHK, Statens haverikommission, Brand på Herkulesgatan i Göteborg, O län, den 29-30 oktober 1998, ISSN: 1400-5751. Stockholm, 2001.
- SRV, Systematiskt brandskyddsarbete, Allmänna råd och kommentarer, 2001:2, Räddningsverket., 2001.

SRV, Värdering av risk. Rapport P21-182/97, Räddningsverket, Karlstad, 1997.

Santos-Reyes, J. & Beard, A.N. Assessing safety management systems, Journal of Loss Prevention in the process industries, Vol 15, 2002.

Tewarson, A. Generation of heat and chemical compounds in fires. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed., National Fire Protection Engineering, Quincy, MA, 1995.

Thoft-Christensen, P., Baker, M.J. Structural Reliability and Its Applications. Springer Verlag, Berlin, 1982.

Uijt de Haag, P.A.M, Ale, B.J.M. & Post, J.G. Guideline for quantitative risk assessment: Instructions for a quantitative risk analysis in the Netherlands, Safety and Reliability, 1999.

Förteckning över bilagor

Bilaga A – Konservativa val vid riskanalys och riskvärdering

Bilaga B – Modellering av brandförlopp

Bilaga C – Jämförelse mellan två-zonsmodell och CFD

Bilaga D – CFAST v.5 indatafil för referensbyggnaden

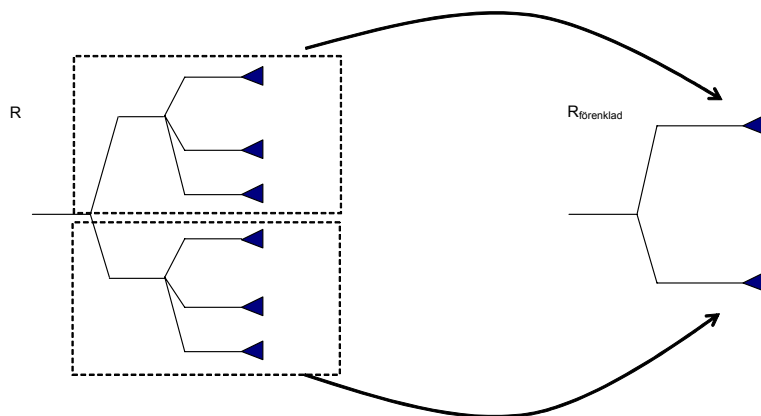
Bilaga E – Analytisk modell av brandförloppet

Bilaga F – Resultat från känslighetsanalysen

Bilaga G – Resultat från osäkerhetsanalysen

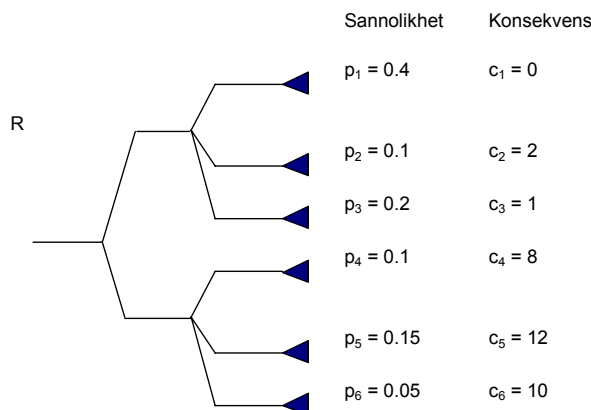
Bilaga A – Konservativt val av dimensionerande scenarier

Att ta med tillräckligt många scenarier i en riskanalys för att få en rättvisande bild av risken och att samtidigt begränsa antalet scenarier så att analysarbetet inte skal bli orimligt omfattande är två konkurrerande målsättningar. Ibland väljs det scenario eller de scenarier som analyseras godtyckligt. Då är det ovisst hur stor del av den totala risken som analyseras och värderas. Ett bättre alternativ är att arbeta med grupper av scenarier eller s.k. dimensionerande scenarier. Tillvägagångssättet har introducerats i avsnitt 2.2.1 och är ett sätt att med ett fåtal scenarier representera ett större antal eller grupper av scenarier. Principen redovisas i Figur A1. Förenklingen innebär oundvikligen att upplösningen på analysen blir sämre. Fördelen är att även efter förenklingen finns all information i händelseträdet representerad. Det är viktigt att förenklingen görs så att representationen blir konservativ. Grupperna av scenarier behöver inte utgöras av intilliggande scenarier utan scenarierna kan identifieras på olika positioner i händelseträdet. Scenarier som grupperas bör ha konsekvenser i samma storleksordning, för att inte förenklingen ska bli alltför grov.

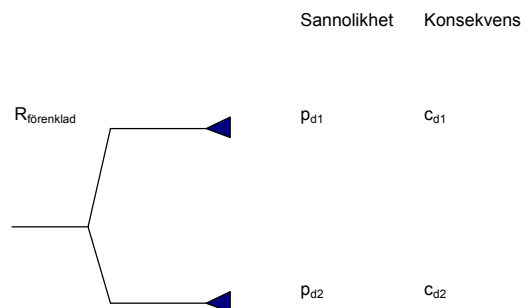


Figur A1. Principen för framtagande av en förenklad riskbild.

Beroende på vad risken som analyseras ska användas till ställs olika krav på hur dimensionerande scenarier ska tas fram för att vara konservativa, d.v.s. på säkra sidan (NFPA, 2004b). För att illustrera problematiken redovisas fyra olika fall, där den förenklade riskbilden ska användas för olika ändamål. För vart och ett av dessa ändamål redovisas hur konsekvensen och sannolikheten för den förenklade riskbilden, se Figur A3, ska beräknas för att vara konservativ, med utgångspunkt från exemplet i Figur A2.



Figur A2. Den totala risken.



Figur A3. Förenklad representation av risken

Fall 1. Risknivån ska jämföras med en acceptabel risknivå.

För detta fall ska den värsta konsekvensen i varje grupp av scenarier väljas för att representera gruppen konsekvens. I ekvation (26) -(31) redovisas hur konsekvensen och sannolikheten för de dimensionerande scenarierna räknas ut. Risknivån i den förenklade riskberäkningen ($R_{förenklad}$) kommer då inte att understiga den faktiska (R).

$$p_{d1} = \sum_{i=1}^3 (p_i) = 0.4 + 0.1 + 0.2 = 0.7 \quad (26)$$

$$p_{d2} = \sum_{i=4}^6 (p_i) = 0.1 + 0.15 + 0.05 = 0.3 \quad (27)$$

$$c_{d1} = MAX[c_{i1}]^3 = 2 \quad (28)$$

$$c_{d2} = MAX[c_{i4}]^6 = 12 \quad (29)$$

$$R_{förenklad} = \sum_{i=1}^2 (p_{di} \cdot c_{di}) = 0.7 \cdot 2 + 0.3 \cdot 12 = 5 \quad (30)$$

$$R = \sum_1^6 (p_i \cdot c_i) = 3.5 \quad (31)$$

R = den faktiska risknivån
 $R_{förenklad}$ = den förenklade representationen av risknivån
 i = index för att representera vilket scenario som avses

En förutsättning för att den förenklade beräkningen ska vara konservativ är att $R_{förenklad} > R$. På så sätt kommer inga lösningar att representeras av en lägre risknivå än den faktiska. Vid jämförelse mot en acceptabel nivå kommer inga lösningar felaktigt att accepteras när den förenklade beräkningen används.

Fall 2. Risknivån ska utgöra acceptanskriterium.

Ett sätt att ta fram acceptanskriterier är som bekant att analysera risknivån i en lösning som anses vara acceptabel, på motsvarande sätt som utförts i denna rapport. Om en förenkling av riskberäkningarna ska utföras är det viktigt att uppmärksamma att tillvägagångssättet ovan inte leder till ett konservativt resultat. Skattningen av risken för den accepterade lösningen kommer att bli högre än den faktiska, vilket innebär att om denna nivå används som acceptanskriterium kan lösningar med högre risknivå än den acceptabla godtas.

Nedan redovisas ett tillvägagångssätt för att bestämma en konservativ risknivå för att använda som acceptanskriterium. Exemplet som beskrivs i Figur A2 och Figur A3 används som utgångspunkt. Sannolikheterna p_{d1} och p_{d2} beräknas enligt ekvation (26) och (27) medan konsekvenserna beräknas med ekvation (32) och (33).

$$c_{d1} = MIN[c_{i1}]^3 = 0 \quad (32)$$

$$c_{d2} = MIN[c_{i4}]^6 = 8 \quad (33)$$

Den förenklade riskberäkningen redovisas i ekvation (34).

$$R_{förenklad} = \sum_{i=1}^2 (p_{di} \cdot c_{di}) = 0.7 \cdot 0 + 0.3 \cdot 8 = 2.4 \quad (34)$$

Fall 3. Relativ jämförelse mellan två lösningar

Vid en relativ jämförelse mellan två alternativ där den ena utgör en acceptabel lösning, t.ex. när en analytisk lösning ska jämföras med en lösning som tagits fram med förenklad dimensionering, krävs en kombination av fall 1 och fall 2. För att jämförelsen ska bli konservativ måste risknivån för den analytiska lösningen, R_{AD} , beräknas enligt fall 1 för att risken inte ska underskattas och den acceptabla lösningen som jämförelsen sker mot, R_{ACC} , beräknas enligt fall 2. Vid en indelning i ett fåtal grupper av scenarier är det stor sannolikhet att värderingen blir alltför konservativ.

Fall 4. Ett icke konservativt tillvägagångssätt

Ett alternativ till fall 3 som inte är konservativt, men som ofta tillämpas är att låta ett medelvärde eller medianvärde av scenarierna i gruppen representera det dimensionerande scenariot. Vid en liten indelning i scenarier blir det en stor skillnad mellan de faktiska utfallen och utfallen för det dimensionerande scenariot. Beroende på hur riskbilden ser ut kan felaktiga beslut fattas.

Bilaga B – Modellerings av brandförlopp

I denna bilaga presenteras förutsättningarna för att modellera den välventilerade- respektive underventilerade branden.

Välventilerad brand

Branden som startar i samlingslokalen är okomplicerad att modellera. Tillväxten antas följa αt^2 utveckling upp till en maximal nivå där tillväxten avtar och effektutvecklingen blir konstant. Branden i det intilliggande utrymmet modelleras som en övertänd brand i ett utrymme med mycket brännbart material som snabbt blir underventilerad eftersom begränsat med syre tillförs genom dörröppningen. Branden ska inte vara så extrem att den är väldigt sällsynt förekommande utan representerar ett tufft brandscenario som kan inträffa på många ställen och har potential att leda till allvarliga konsekvenser.

Bränslet antas vara en blandning av trä och polystyren. Golvet i det relativt lilla rummet är täckt med brännbart material. En uppskattning av effektutvecklingen redovisas nedan:

Area av det brännbara materialet, $A = 6 \text{ m}^2$

Pyrolys per area, $\dot{m}'' = 25 \text{ g/m}^2/\text{s}$

Pyrolys i lokalen, $\dot{m} = A \cdot \dot{m}'' = 162.5 \text{ g/s}$

Pyrolysen är lågt räknad och kan vara högre till följd av återstrålning eller om en större yta hos det brännbara materialet exponeras för branden.

ΔH_{C_Tot} [MJ/kg] = total förbränningsvärme (teoretiskt).

ΔH_{C_chem} [MJ/kg] = kemiskt förbränningsvärme

PS = C_8H_8 = kemisk struktur hos bränslet Polystyren

Polystyren: $\Delta H_{C_Tot} = 40 \text{ MJ/kg}$, $\Delta H_{C_chem} = 27 \text{ MJ/kg}$

Trä: $\Delta H_{C_Tot} = 20 \text{ MJ/kg}$, $\Delta H_{C_chem} = 12.4 \text{ MJ/kg}$

Medelvärde mellan plast och trä: $\Delta H_{C_T} = 30 \text{ MJ/kg}$, $\Delta H_{C_chem} = 19.7 \text{ MJ/kg}$

$$\dot{Q} = 162.5 \cdot 30 = 4.9 \text{ MW} \approx 5 \text{ MW}$$

Enligt Thomas korrelationen (FEG, 2000) är $Q_{FO} = 1.2 \text{ MW}$ i den intilliggande lokalen vilket bekräftar att den framräknade effektutvecklingen innebär en underventilerad brand.

Enligt (Drysdale, 1992) uppstår ventilationkontrollerad brand vid:

$$1.5 \cdot A \cdot H^{0.5} = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 2 \cdot 2^{0.5} = 5.1 \text{ MW}$$

En underventilerad brand kan resultera i en snabb brandgasfyllnad om förbränning sker utanför själva brandrummet. Ventilationskontroll uppkommer vid ca 5 MW vilket innebär att ekvivalenskvoten (Φ) är 1. Ekvivalenskvoten definieras som förhållande mellan bränsle – luftförhållandet delat med det stökiometriska bränsle – luft förhållandet. En underventilerad brand karaktäriseras av att $\Phi > 1$. Om branden växer till ventilationskontrollerad brand enligt beräkningarna ovan är det fullt möjligt att pyrolys fortsätter att öka genom att återstrålning från brännbara ytor i brandrummet, se t.ex. avsnitt 9.1 i Fire Dynamics (Drysdale, 1992). Vid höga effektutvecklingar kommer de förbränningsfysikaliska variabler som styr effektutvecklingen att påverkas i hög grad av den höga ekvivalenskvot som uppkommer. Det

medför att förbränningseffektiviteten hos branden minskar avsevärt och att strålningsandelen vid förbränningen blir väldigt hög. Dessa effekter borde påverka pyrolyshastigheten så att den sänks och att effektutvecklingen avstannar, och ekvivalenskvoten minskar. Det kan innebära att den finns en effektutveckling eller ett intervall av effektutveckling där branden oscillerar. Det verkar orimligt att effektutvecklingen skulle fortsätta att öka okontrollerat med tiden. Effekter modelleras inte av CFAST, men känslighetsanalysen visar att brandförloppets intensitet och tillväxthastighet minskar avsevärt över 10MW. Det bedöms som att 10MW är en mycket kraftig brand i ett sådant litet utrymme och att detta är ett s.k. "worst case". En förbränning motsvarande 17MW i ett så litet utrymme är inte realistiskt eftersom ventilationen är begränsad. Eftersom branden antas vara övertänd i samband med att personerna i intilliggande lokal upptäcker den modelleras brandförloppet genom att branden snabbt växer till sin maximala effektutveckling.

Ekvivalenskvoten är en av de variabler som påverkar förbränningen och vilka förbränningsprodukter som bildas. I CFAST v.5 finns möjlighet att styra förbränningsförhållandena genom att specificera olika "yield factors", d.v.s. relationen mellan massan av olika förbränningsprodukter som bildas, förbränningsvärme och andelen av effektutvecklingen som avges som strålning. Alla dessa är beroende av ventilationskontrollerade och hur de påverkas finns redovisat i SFPE handboken (Tewarson, 1995). Om ventilationsförhållandena är kända finns möjlighet att ändra variablerna genom att ändra i indatafilen. Att modellera övertänd underventilerad brand med CFAST v.5 är ett ganska grovt antagande, men Buchanan (1998) har visat på god överensstämmelse i vissa fall och viss verifiering av den förenklade förbränningsmodellen har även utförts (Edstam et al., 1998). Följande antaganden utöver de som beskrivits ovan har gjorts i samband med modellering av brandförloppet:

- Det finns inga fönster som går sönder i brandrummet.
- Påverkan av ventilationen om ytterligare en utrymningsväg används är försumbar.
- Läckage och otätheter modelleras genom en ventilationsöppning mellan samlingslokalen och ute som är 1 cm bred och sträcker sig från golv till tak i rum 2.

Antaganden gäller både den välventilerade och underventilerade branden.

Underventilerad brand

Massfraktion av förbränningsprodukter och förbränningsvärme vid välventilerade förhållanden hämtas från SFPE handboken, Table 3-4.11 (Tewarson, 1995). Därefter korrigeras dessa värden utifrån kurvor som beskriver hur parametrarna förändras som funktion av ekvivalenskvoten (Tewarson, 1985). Indata till CFAST v.5 finns beskrivet i den tekniska manualen (Jones et al., 2000) och några förtydliganden redovisas i ekvation (35) och (36). De korrigerade värdena redovisas i tabell B1.

$$\Delta H_{c \text{ chem}} = \Delta H_{c \text{ con}} + \Delta H_{c \text{ rad}} \quad (35)$$

$\Delta H_{c \text{ con}}$ = konvektiv andel av förbränningsvärmen

$\Delta H_{c \text{ rad}}$ = strålningsandel av förbränningsvärmen

$$\chi_{vc \text{ rad}} \text{ (indata till CFAST)} = (\Delta H_{c \text{ chem vc}} - \Delta H_{c \text{ con vc}}) / \Delta H_{c \text{ chem vc}} \quad (36)$$

$\chi_{vc \text{ rad}}$ = andelen av effektutvecklingen som avges som strålning givet ventilationskontrollerad brand (vc).

Eftersom effektutvecklingen i den övertända branden varierar i känslighetsanalys påverkas även ekvivalenskvoten och de variabler som presenteras ovan. I Tabell B1 nedan redovisas indata som används för respektive övertänd brand (ventilation controlled, vc) samt vid välventilerade förhållanden (well ventilated, wv).

Tabell B1. Indata till CFAST v.5 vid olika effektutvecklingar.

Q < 5MW

$\Phi = 1$

	y_{CO2}	y_{CO}	y_s	$\Delta H_{c, chemical}$	ΔH_{con}
Trä (red oak)	1.27	0.004	0.015	12.4	7.8
PS	2.33	0.06	0.164	27	11

	S/CO2	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO2	O2/C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad, vc}$
Blandning	0.041	0.114			0.014			0.5
Trä	0.012	0.143	0	0	0.003		12.4	0.4
PS	0.070	0.084	0	0	0.026		27	0.6

Q = 10 MW

$\Phi = 2$

	$y_{s, vc}/y_{s, wv}$	$y_{CO, vc}/y_{CO, wv}$	$y_{CO2, vc}/y_{CO2, wv}$	$\Delta h_{chvc}/\Delta h_{chwv}$	$\Delta h_{ccon, vc}/\Delta h_{ccon, wv}$	Δh_{chvc}	$\Delta h_{ccon, vc}$
Trä	1.8	50	0.66	0.67	0.3	8.31	2.34
PS	1.9	3	0.66	0.67	0.3	18.09	3.3

	S/CO2	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO2	O2/C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad, vc}$
Blandning	0.117	0,114	0	0	0.178		13.2	0.77
Trä	0.032	0,143	0	0	0.239		8.31	0.72
PS	0.203	0,084	0	0	0.117		18.09	0.82

Q = 2.5 MW

$\Phi = 0.5$

	$y_{s, vc}/y_{s, wv}$	$y_{CO, vc}/y_{CO, wv}$	$y_{CO2, vc}/y_{CO2, wv}$	$\Delta h_{chvc}/\Delta h_{chwv}$	$\Delta h_{ccon, vc}/\Delta h_{ccon, wv}$	Δh_{chvc}	$\Delta h_{ccon, vc}$
Trä	1	1	1	1	1	12.4	7.8
PS	1	1	1	1	1	27	11

	S/CO2	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO2	O2/C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad, vc}$
Blandning	0.041	0.114	0	0	0.014			0.5
Trä	0.012	0.143	0	0	0.003		12.4	0.4
PS	0.070	0.084	0	0	0.026		27	0.6

Q = 7.5 MW

$\Phi = 1.5$

	$y_{s, vc}/y_{s, wv}$	$y_{CO, vc}/y_{CO, wv}$	$y_{CO2, vc}/y_{CO2, wv}$	$\Delta h_{chvc}/\Delta h_{chwv}$	$\Delta h_{ccon, vc}/\Delta h_{ccon, wv}$	Δh_{chvc}	$\Delta h_{ccon, vc}$
Trä	1.7	26	0.8	0.8	0.6	9.92	4.68
PS	1.7	2.3	0.8	0.8	0.6	21.6	6.6

	S/CO2	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO2	O2/C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad, vc}$
Blandning	0.087	0.114	0	0	0.088		15.8	0.61
Trä	0.025	0.143	0	0	0.102		9.92	0.53
PS	0.150	0.084	0	0	0.074		21.6	0.69

Q = 12.5 MW

Φ = 2.5

	$y_{s\ vc}/y_{s\ vv}$	$y_{CO\ vc}/y_{CO\ vv}$	$y_{CO_2\ vc}/y_{CO_2\ vv}$	$\Delta h_{chvc}/\Delta h_{chwv}$	$\Delta h_{ccon\ vc}/\Delta h_{ccon\ vv}$	Δh_{chvc}	$\Delta h_{ccon\ vc}$
Trä	2.8	55	0.58	0.59	0.18	7.32	1.404
PS	2.8	3	0.58	0.59	0.18	15.9	1.98

	S/CO ₂	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO ₂	O ₂ /C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad\ vc}$
Blandning	0.198	0.114	0	0	0.216		11.6	0.85
Trä	0.057	0.143	0	0	0.299		7.32	0.81
PS	0.340	0.084	0	0	0.133		15.9	0.88

Q = 17.5 MW

Φ = 3.5

	$y_{s\ vc}/y_{s\ vv}$	$y_{CO\ vc}/y_{CO\ vv}$	$y_{CO_2\ vc}/y_{CO_2\ vv}$	$\Delta h_{chvc}/\Delta h_{chwv}$	$\Delta h_{ccon\ vc}/\Delta h_{ccon\ vv}$	Δh_{chvc}	$\Delta h_{ccon\ vc}$
Trä	2.8	60	0.43	0.45	0.08	5.58	0.624
PS	2.8	3.5	0.43	0.45	0.08	12.15	0.88

	S/CO ₂	H/C	HCl/f	HCN/f	CO/CO ₂	O ₂ /C	Δh_{chvc}	$\chi_{rad\ vc}$
Blandning	0.268	0.114	0	0	0.325		8.86	0.91
Trä	0.077	0.143	0	0	0.439		5.58	0.89
PS	0.458	0.084	0	0	0.210		12.15	0.93

Begränsningar med CFAST v.5

Vid övertänd brand finns fler faktorer än ekvivalenskvoten som påverkar förbränningen, t.ex. temperatur. I CFAST v.5 tas inte hänsyn till detta vilket gör att möjligheten att prediktera förbränningen i brandrummet och dess temperatur blir begränsad.

En svårighet vid ventilationskontrollerade bränder är att förbränningsvariablerna endast kan specificeras för ett ventilationsförhållande. När branden är underventilerad sker i regel även förbränning utanför brandrummet, fast där råder andra ventilationsförhållanden. I tabellerna nedan specificeras variablerna med avseende på ventilationsförhållandena i brandrummet. I CFAST v.5 finns bara en variabel för att ange förbränningsvärme, men det är oklart om ΔH_c Tot eller $\Delta H_{c\ chem}$ som avses.

Vid ventilationsfaktor 3 – 4 börjar en flammförbränning bli tveksam enligt Tewarson (1995). Det är inte troligt att det verkliga brandförloppet kommer att bli så kraftigt. En ökande ekvivalenskvot leder till en ineffektivare förbränning i brandrummet och en större förbränning i intilliggande utrymme. En sänkning av temperaturen bör minska pyrolysen och minska den totala effektutvecklingen. Det bör skapa en brand som pulserar kring ett visst maximalt värde. En övertänd brand ”förväntas” alltså inte skena utan se ganska lik ut oavsett brandbelastning.

CFAST v.5 är inte avsedd för att prediktera denna typ av bränder, men har visat sig att ändå ge rimliga resultat. Underventilerad brand är fortfarande ett outforskat område och även mer komplicerade modeller, t.ex. fältmodeller, har problem att modellera dessa förhållanden. Anledningen till att modellen kan användas är att trots att brandkällan modelleras på ett väldigt förenklat sätt så kan förhållandena en bit från branden predikteras med tillräckligt bra precision med avseende på syftet med analysen. Det bygger på att förhållandena i lokalen liknar en två-zons skiktning och den förenklade förbränningsmodellen enbart ska ses som en mass och energipump.

Bilaga C – Jämförelse mellan CFAST och FDS

Det tar för lång tid att utföra alla brandgassimuleringar som krävs till osäkerhetsanalysen med en komplicerad modell (CFD). Det innebär att en enklare modell måste användas, förslagsvis en två-zonsmodell, samtidigt som kvalitén på resultaten inte får leda till att vi drar felaktiga slutsatser. I utgångsläget har CFAST använts för att simulera övertändbrand underventilerad brand eftersom inga bättre ”enkla” modeller funnits. Att använda två-zonsmodellen som approximation av en turbulent övertänd brand kan verka olämpligt men tidigare studier har visat att både temperatur och masstransport kan predikteras i intilliggande rum med rimlig överensstämmelse (Buchanan, 1998). För att verifiera möjligheterna att uppskatta temperatur och brandgasspridning i den samlingslokal som utgör referensexempel utförs ett litet antal simuleringar med CFD modellen FDS (McGrattan et al., 2002) som tillhandahålls av NIST.

Förbränningsmodellen

En del av förbränningen sker under underventilerade förhållanden i brandrummet, samtidigt som en relativt stor del av förbränningen sker i det intilliggande rummet under andra ventilationsförhållanden. I CFAST går det enbart att specificera en uppsättning förbränningsparametrar. Det är därför svårt att veta hur de verkliga förhållandena kan representeras bäst, samtidigt som det är svårt att få information om hur de ”verkliga förhållandena” faktiskt ser ut vid en så kraftig brand. Experimentella underlag saknas samtidigt som resultaten påverkas mycket när ekvivalenskvoten ändras. En jämförelse med CFD modeller kan förhoppningsvis ge information om vilken ekvivalenskvot som är lämpligt att använda för att specificera förbränningsparametrarna i CFAST.

Val av kritiska förhållanden

Olika parametrar kan definiera vad som är kritiska förhållanden när en två-zonsmodell används. Exempel är temperatur i brandgaslagret, temperatur i luften, brandgaslagrets höjd, siktbarhet. Det mest lämpliga valet beror delvis av hur skiktning ser ut i lokalen, som till stor del bestäms av brandens storlek och som också påverkar två-zons modellens lämplighet att modellera branden. Genom att göra jämförelser med CFD simuleringar kan förhoppningsvis två-zonsmodellens lämplighet styrkas och även styrka val av variabel att mäta kritiska förhållanden med. En farhåga som finns är att brandgaserna kyls långt bort från branden och sjunker mot marken. Uppstår detta fenomen kan tvåzonsmodellen vara otillräcklig att modellera förhållandena. Kritiska förhållanden i FDS simuleringen beräknas med en algoritm för att beräkna en nivå på brandgaslagrets höjd (He et. al, 1998).

Vid jämförelsen mellan tvåzonsmodellen och CFD modellen framkommer stora skillnader i resultat. Även modellering av övertänd underventilerad brand med CFD modeller är ett nytt område och mycket verifiering återstår. Den viktigaste slutsatsen är att vid en visuell studie av CFD resultaten verkar det bildas ett stabilt brandgaslager i samlingslokalen som inte sjunker vid entrén, d.v.s. den bortre utgången räknat från brandrummet. Det skulle innebära att användandet av en två-zons modell för att beskriva förhållandena i brandrummet skulle vara tveksamt. Vid en studie av förhållandena i brandrummet, se Tabell C1, jämförs FDS med CFAST för både välventilerade (wv) och underventilerade förhållanden (ϕ). På basis av det begränsade antal simuleringar som studerats dras inga slutsatser om huruvida modellering av välventilerade eller underventilerad brand med CFAST bäst representerade de verkliga förhållandena. Eftersom resultaten verkar överensstämma ganska bra används CFAST $_{\phi}$ vid modellering av underventilerad brand.

Tabell C1. Exempel på jämförelse mellan FDS och tvåzonsmodell.

	T_{UL} R1		T_{UL} R2		t_{krit}	Q Rum1	Q Rum2
	t=200	t=600	t=200	t=600			
FDS	940	1070	150	183	248	4 MW	5 MW
CFAST_{wv}	1000	1300	150	175	280	6MW	3.5MW
CFAST_φ	850	1100	160	175	320	5MW	4MW

Bilaga D – CFAST v.5 indatafil för referensbyggnaden

```
VERSN      3Referensbyggnaden
#VERSN 3 Referensbyggnaden - brand i intilliggande utrymme
TIMES      1000      0      5      20      0
DUMPR REF1.HIS
ADUMP REF1.XLS NS
TAMB 293.150      101300. 0.000000
EAMB 293.150      101300. 0.000000
HI/F 0.000000 0.000000 0.000000
WIDTH 3.00000 25.0000 6.00000
DEPTH 2.00000 40.0000 3.00000
HEIGH 2.40000 6.00000 2.40000
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE
#CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE
#WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE
#FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE
HVENT 1 2 1 1.20000 2.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 1      1.00000      1.00000      1.00000
HVENT 2 3 1 2.20000 2.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 2 3 1      1.00000      1.00000      1.00000
HVENT 2 4 1 0.100000 6.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 2 4 1      1.00000      1.00000      1.00000
HVENT 2 4 2 1.20000 2.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 2 4 2      1.00000      1.00000      1.00000
HVENT 3 4 1 2.20000 2.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 3 4 1      1.00000      1.00000      1.00000
CFCON 1 4 outside 2
CFCON 4 2 outside 1
CFCON 2 4 outside 2
CFCON 3 4 outside 2
CHEMI 16.0000 50.0000 10.0000 1.32000E+007 293.150 493.150 0.770000
LFBO 1
LFBT 2
CJET ALL
FPOS -1.00000 -1.00000 0.000000
FTIME      1.00000      1000.00
FAREA      6.00000      6.00000      6.00000
FMASS      0.000000      0.757576      0.757576
FQDOT      0.000000 1.00000E+007 1.00000E+007
HCR        0.114000      0.114000      0.114000
O2          1.00000E-004 1.00000E-004 1.00000E-004
OD          0.117000      0.117000      0.117000
CO          0.178000      0.178000      0.178000
SELECT 1 2 3
#GRAPHICS ON
DEVICE 1
WINDOW 0. 0. -100. 1280. 1024. 1100.
LABEL 1 970. 960. 0. 1231. 1005. 10. 15 00:00:00 0.00 0.00
GRAPH 1 100. 50. 0. 600. 475. 10. 3 TIME HEIGHT
GRAPH 2 100. 550. 0. 600. 940. 10. 3 TIME CELSIUS
GRAPH 3 720. 50. 0. 1250. 475. 10. 3 TIME FIRE_SIZE(kW)
GRAPH 4 720. 550. 0. 1250. 940. 10. 3 TIME O|D2|O()
HEAT 0 0 0 0 3 1 U
HEAT 0 0 0 0 3 2 U
HEAT 0 0 0 0 3 3 U
TEMPE 0 0 0 0 2 1 U
TEMPE 0 0 0 0 2 2 U
```

TEMPE	0	0	0	0	2	3	U
INTER	0	0	0	0	1	1	U
INTER	0	0	0	0	1	2	U
INTER	0	0	0	0	1	3	U
O2	0	0	0	0	4	1	U
O2	0	0	0	0	4	2	U
O2	0	0	0	0	4	3	U

Bilaga E – Analytisk modell av brandförloppet

För att kunna utföra osäkerhetsanalysen med @Risk krävs att den eller de resultatvariabler som studeras kan uttryckas med ekvationer, d.v.s. analytiska uttryck. Eftersom konsekvenserna i riskanalysen till viss del beräknas med en datormodellen CFAST v.5 krävs att ekvationer som ger samma resultat under samma begränsade förutsättningar tas fram. Dessa ekvationer kallas responsytor. Tillvägagångssättet för att approximera utdata från CFAST med en regressionsmodell, finns väldokumenterad (Frantizch, 1998; Boverket, 1997). Ett analytiskt uttryck skapas som en approximation av utdata från en simuleringsmodell, t.ex. ett datorprogram, för ett begränsat variationsintervall för indata. Responsytan är bara giltig inom detta variationsintervall.

Olika typer av regressionsanalyser som kan användas för att ta skapa regressionsmodeller för givna olika variabler. Den enklaste är linjär regression, se ekvation (37).

$$y = m + k \cdot x \tag{37}$$

$y =$	utdata, observation
$x =$	given storhet, oberoende variabel
$m =$	konstant
$k =$	riktningskoefficient

Syftet med regressionsanalysen är att bestämma parametrarna k och m . Det finns även exponentiell regressionsanalys och regressionsanalys med polynom av högra ordning. Valet av regressionsmodell innebär en kompromiss mellan hur komplicerat själva regressionsanalysen blir och hur bra den färdiga regressionsmodellen representerar de ursprungliga data. I samband med regressionsanalys kan parametrar som beskriver hur väl regressionsmodellen beskriver de ursprungliga data beräknas. Exempel på sådana parametrar är determinationskoefficienten, R^2 .

I osäkerhetsanalysen av riskberäkningarna behövs två stycken analytiska uttryck. Ett som approximerar tid till kritiska förhållanden i samlingslokalen vid brand som startar i samlingslokalen och ett andra som approximerar tid till kritiska förhållanden i samlingslokalen vid brand som startar i ett intilliggande utrymme. Efter genomgång av resultaten från känslighetsanalysen väljs de variabler som ska vara beroende. För branden i samlingslokalen väljs area, höjd och tillväxthastighet och för branden i intilliggande utrymmet väljs area och höjd.

För att skapa underlag till regressionsanalysen utförs ett stort antal simuleringar. Indata varierar systematiskt inom det variationsintervall som använts i känslighetsanalysen genom att följande värden används:

$$\begin{aligned} A &= 250, 750, 1000, 1250 \text{ och } 1750 \text{ m}^2 \\ h &= 3, 4, 6, 8 \text{ och } 10 \text{ m} \\ \alpha &= 0.001, 0.005, 0.012, 0.05 \text{ och } 0.1 \text{ kW/s}^2 \end{aligned}$$

För branden i samlingslokalen innebär det 125 simuleringar och för branden i det intilliggande utrymmet 25 simuleringar. För varje simulering bestäms tid till kritiska förhållanden. Underlaget analyseras med olika regressionsmodeller och urvalet baserades på att maximera R^2 värdet. R^2 värdet beskriver hur bra den förenklade modellen beskriver data på en skala

mellan 0 till 1. En exakt överensstämmelse motsvarar ett R^2 på 1. Ju lägre värde på R^2 desto sämre är överensstämmelsen.

Brand i samlingslokalen

Resultaten av regressionsanalysen för branden i samlingslokalen:

$$t_{krit} = k + m_1 \ln(h) + m_2 A + m_3 \ln(\alpha) \quad (38)$$

$$k = -488$$

$$m_1 = 116$$

$$m_2 = 0.34$$

$$m_3 = -123$$

$$R^2 = 0.95$$

$$\Rightarrow t_{krit} = -488 + 116 \cdot \ln(h) + 0.34 \cdot A - 123 \cdot \ln(\alpha)$$

Brand i det intilliggande utrymmet

Resultaten av regressionsanalysen för branden i ett intilliggande utrymme:

$$t_{krit} = k + m_1 \ln(h) + m_2 A \quad (39)$$

$$k = -359$$

$$m_1 = 197$$

$$m_2 = 0.31$$

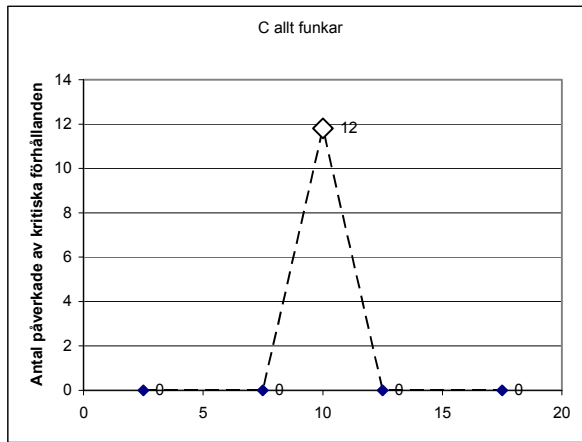
$$R^2 = 0.93$$

$$\Rightarrow t_{krit} = -359 + 197 \cdot \ln(h) + 0.31 \cdot A$$

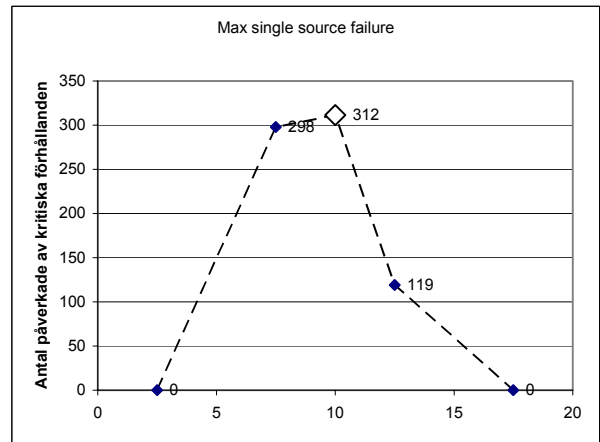
Bilaga F – Resultat från känslighetsanalysen

(Fullständig variabelförteckning redovisas i kapitel 7.)

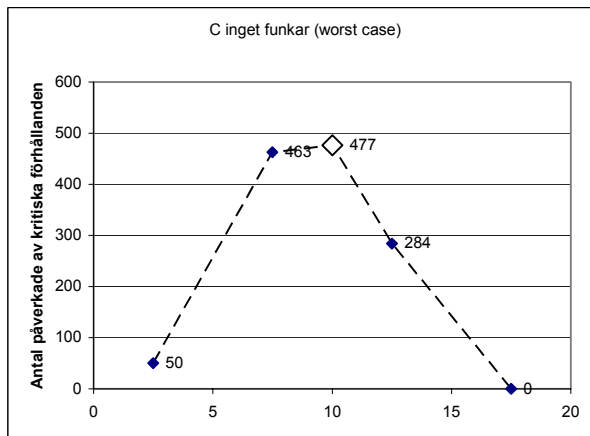
Variabel: Q (2_1)



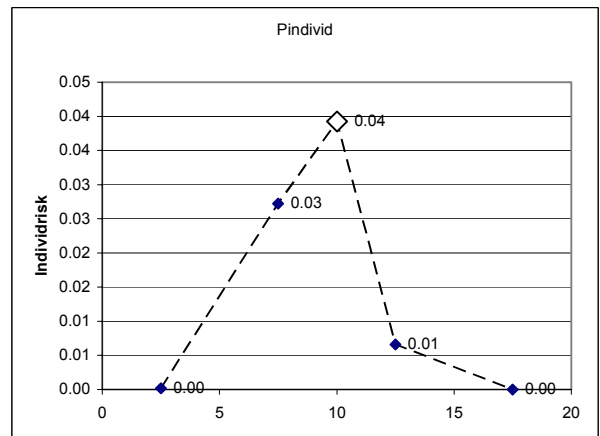
Figur F1. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



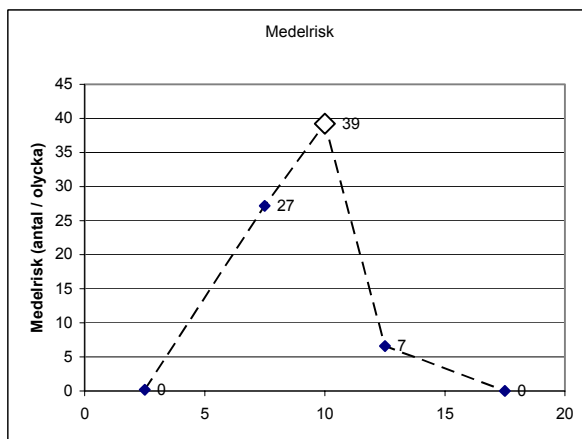
Figur F2. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



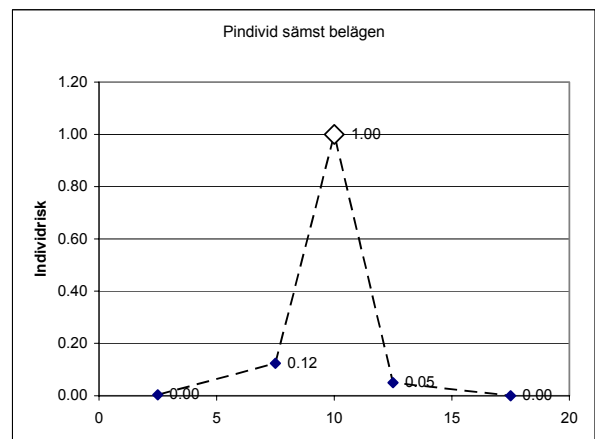
Figur F3. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F4. Individerisken.

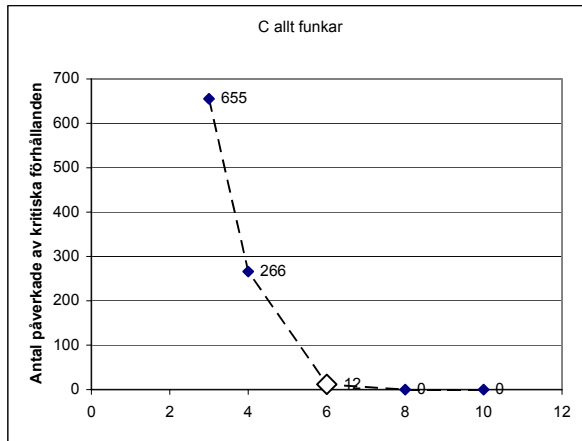


Figur F5. Medelrisken.

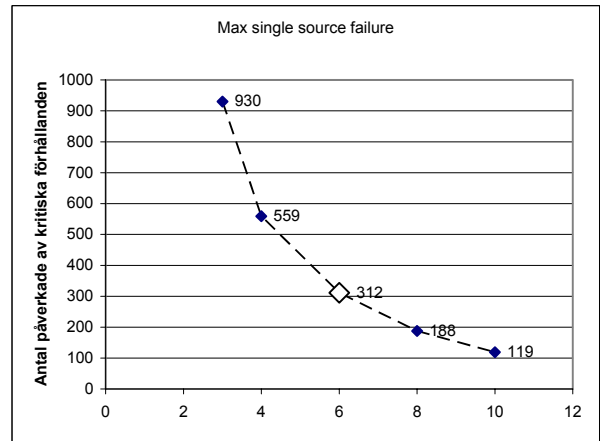


Figur F6. Individerisken för den sämst belägna personen.

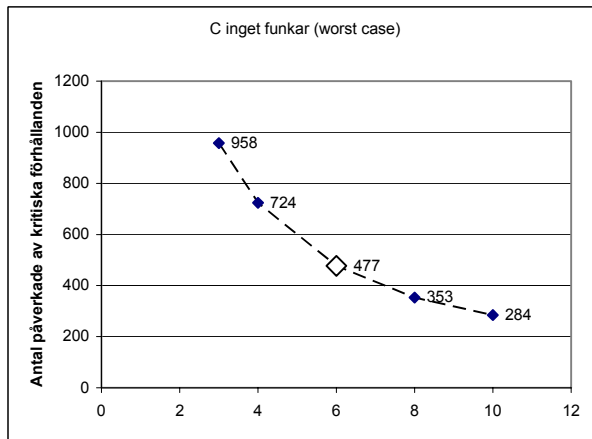
Variabel: h (2_2)



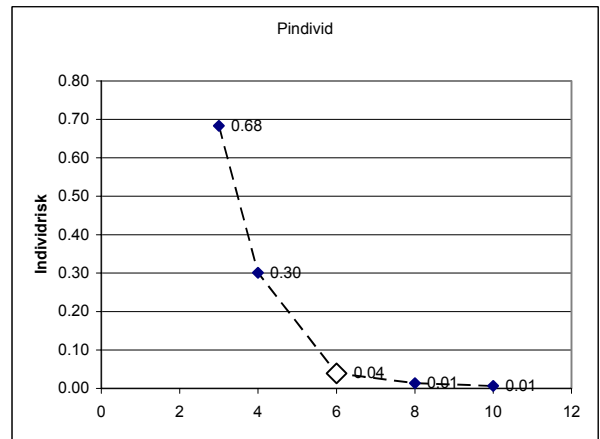
Figur F7. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



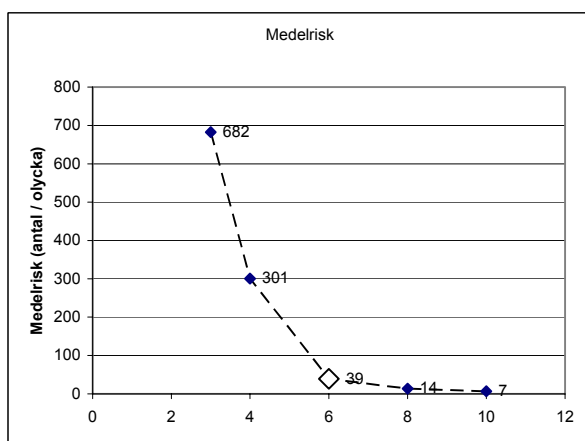
Figur F8. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



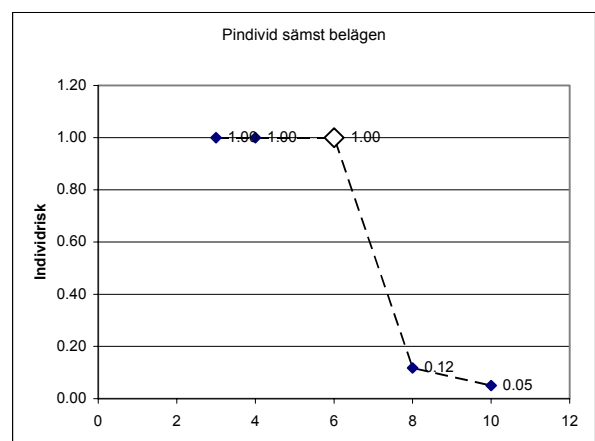
Figur F9. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F10. Individrisk.

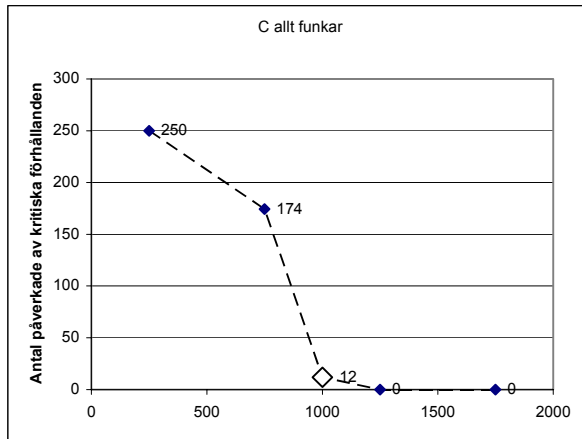


Figur F11. Medelrisken.

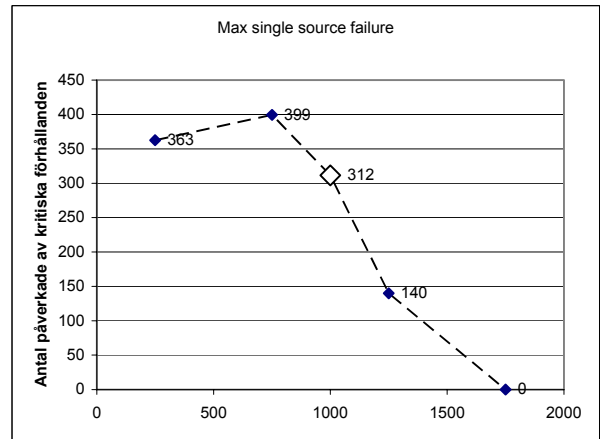


Figur F12. Individrisk för den sämst belägna personen.

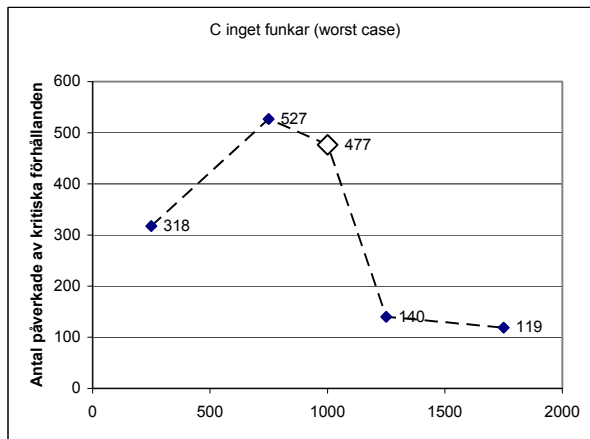
Variabel: A, N och w_{2-3} (2_3)



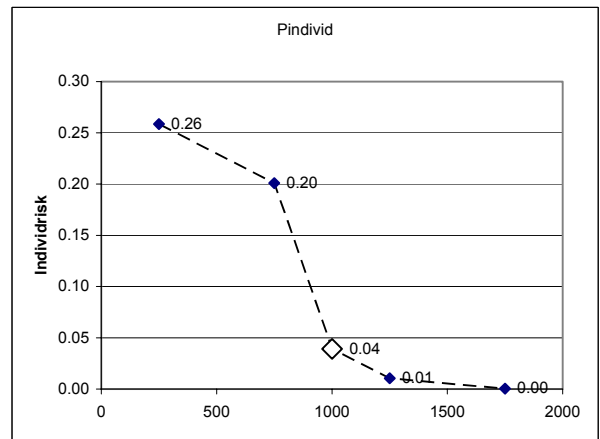
Figur F13. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



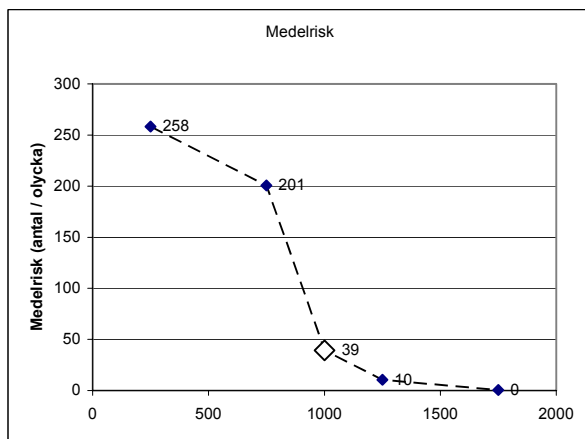
Figur F14. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



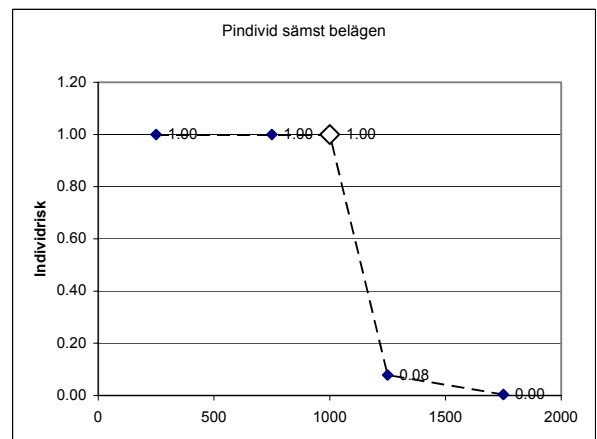
Figur F15. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F16. Individrisk.

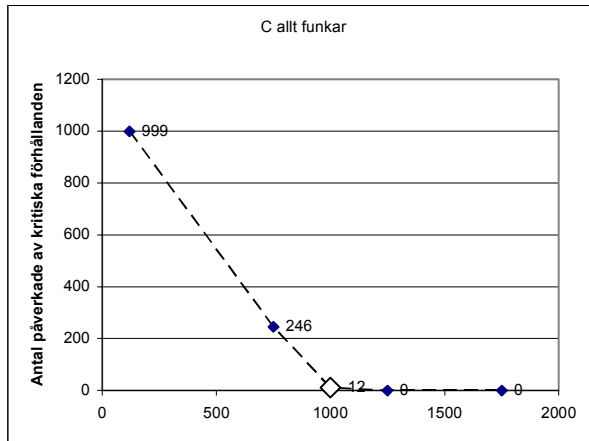


Figur F17. Medelrisken.

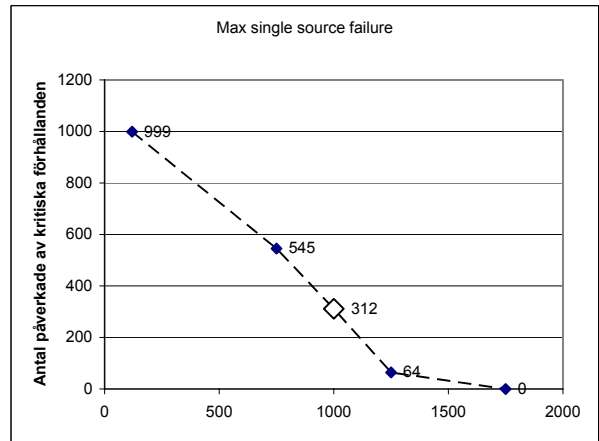


Figur F18. Individrisk för den sämst belägna personen.

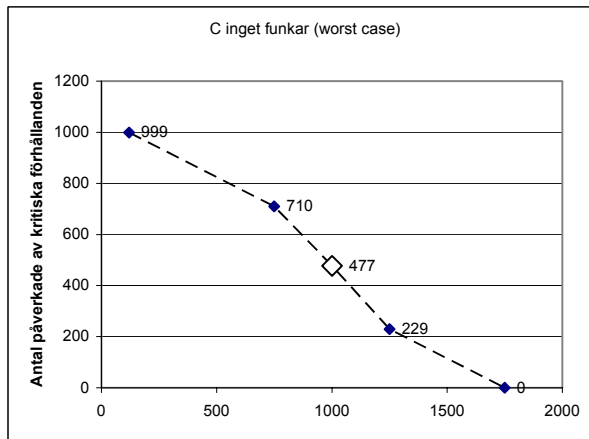
Variabel: A (2_4)



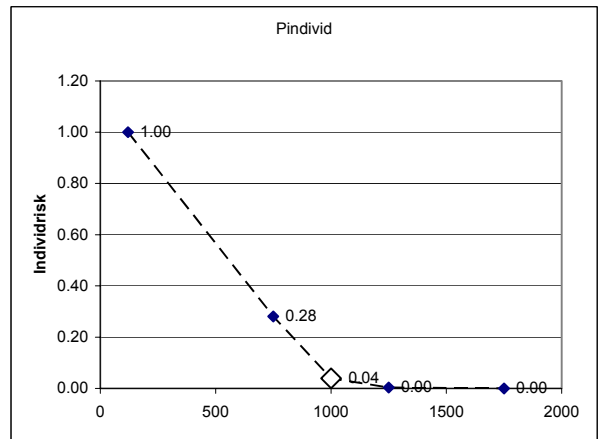
Figur F19. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



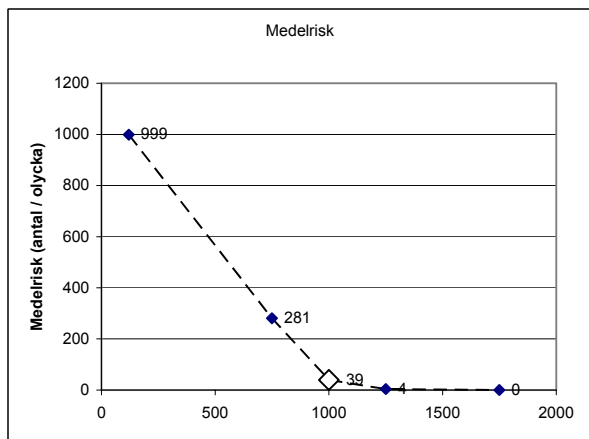
Figur F20. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



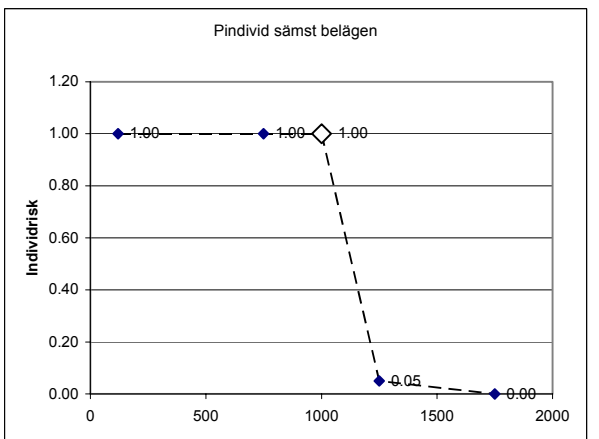
Figur F21. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F22. Individerisken.

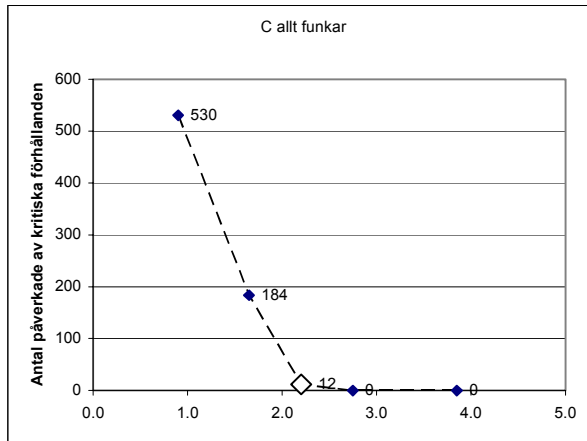


Figur F23. Medelrisken.

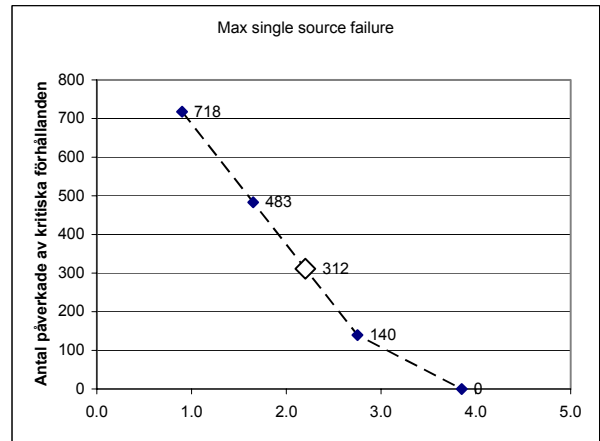


Figur F24. Individerisken för den sämst belägna personen.

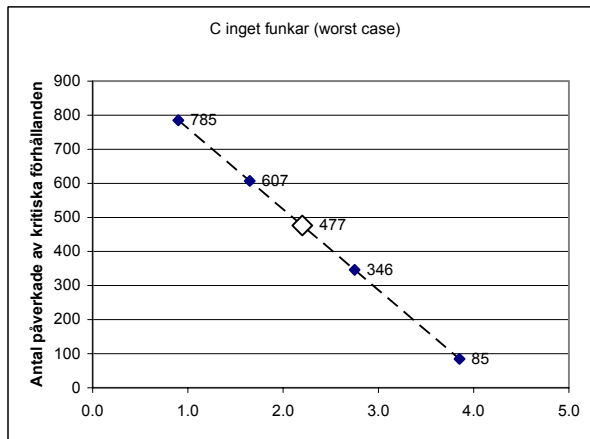
Variabel: w_{2-3} (2_5)



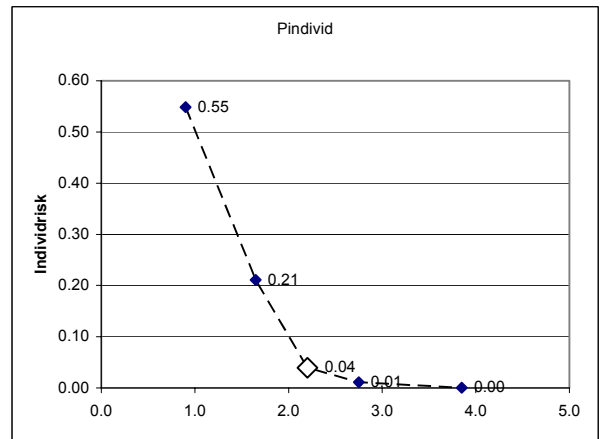
Figur F25. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



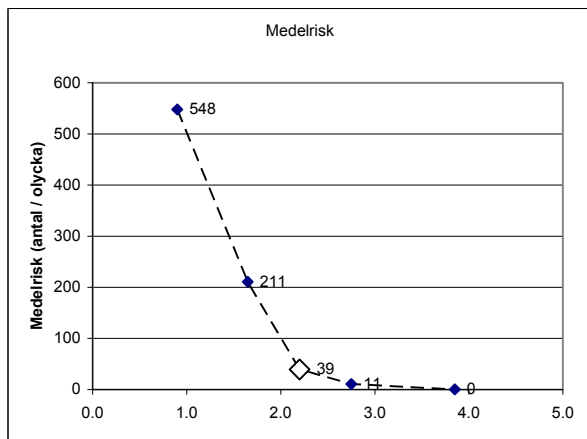
Figur F26. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



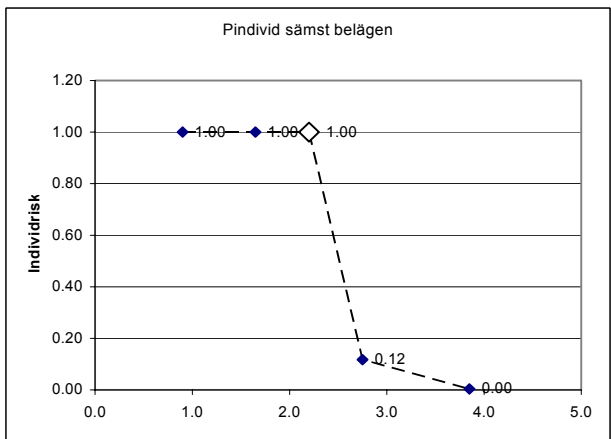
Figur F27. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F28. Indivridrisken.

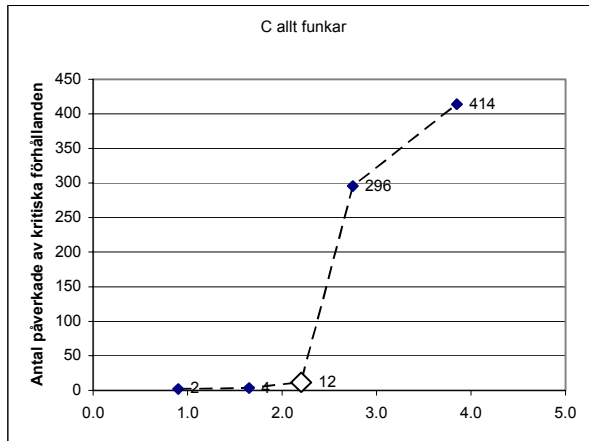


Figur F29. Medelrisken.

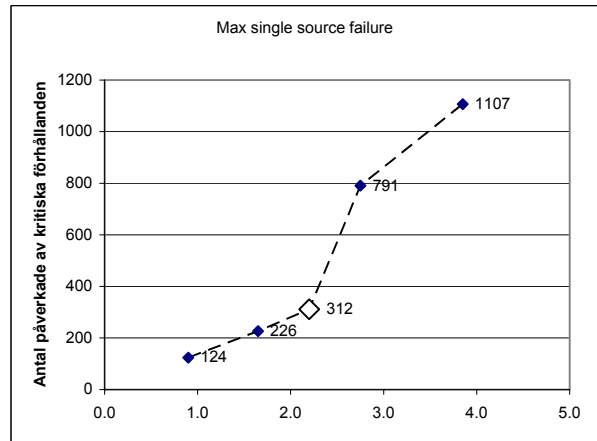


Figur F30. Indivridrisken för den sämst belägna personen.

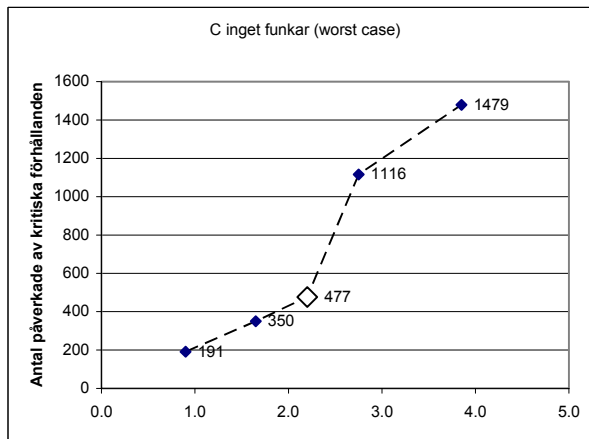
Variabel: w_{2-3} och N (2_6)



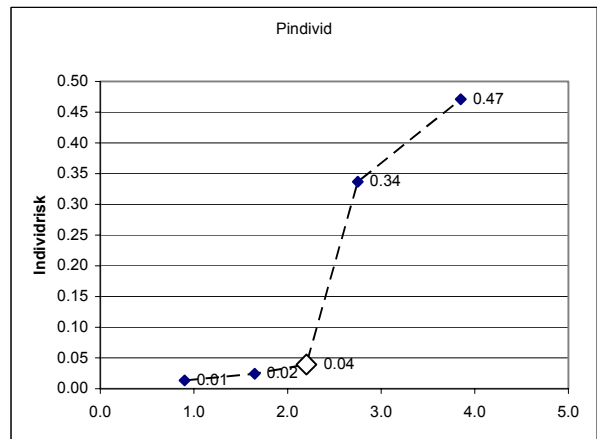
Figur F31. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



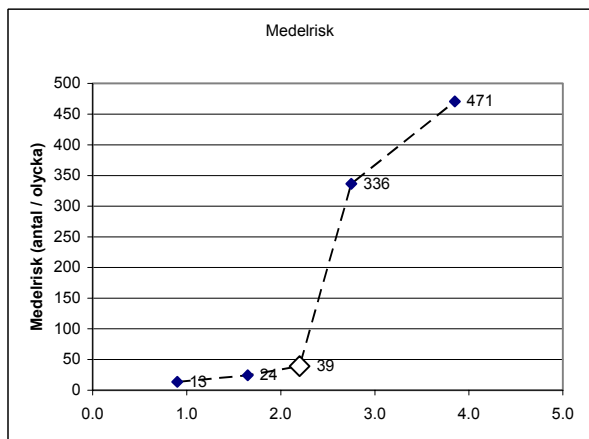
Figur F32. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



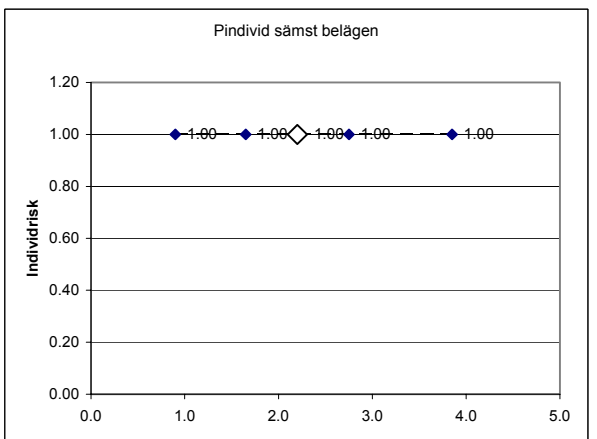
Figur F33. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F34. Individerisken.

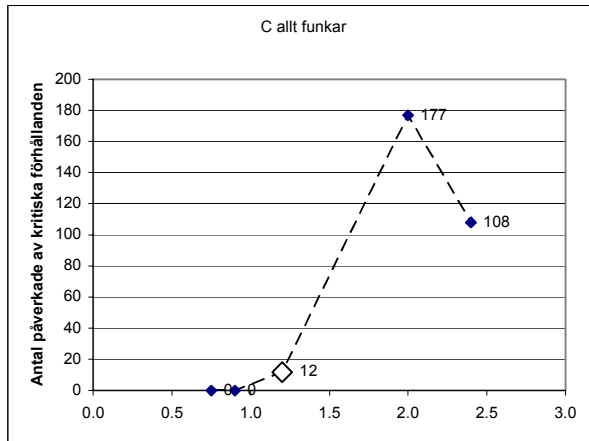


Figur F35. Medelrisken.

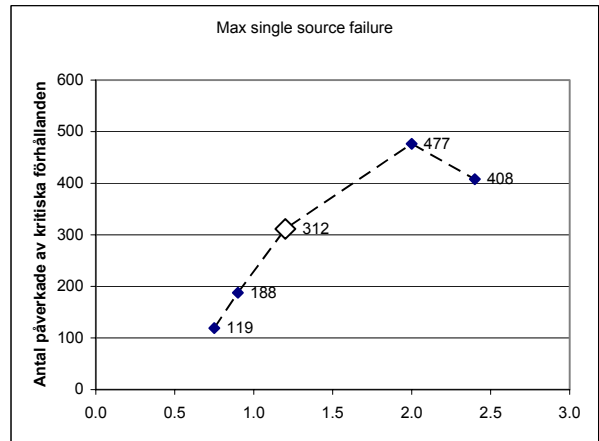


Figur F36. Individerisken för den sämst belägna personen.

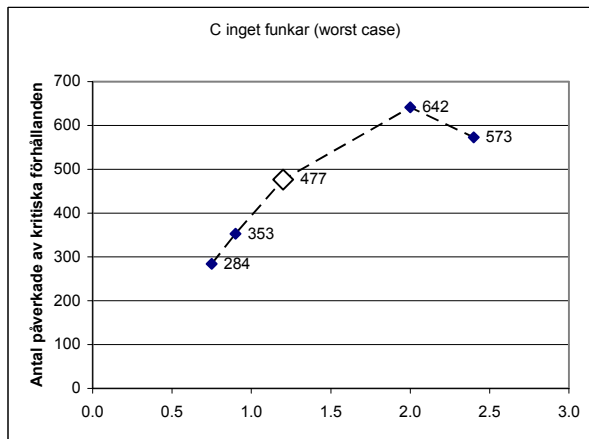
Variabel: w_{1-2} (2_7)



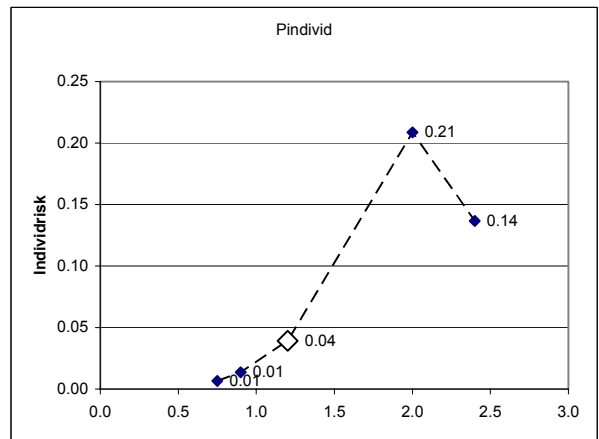
Figur F37. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



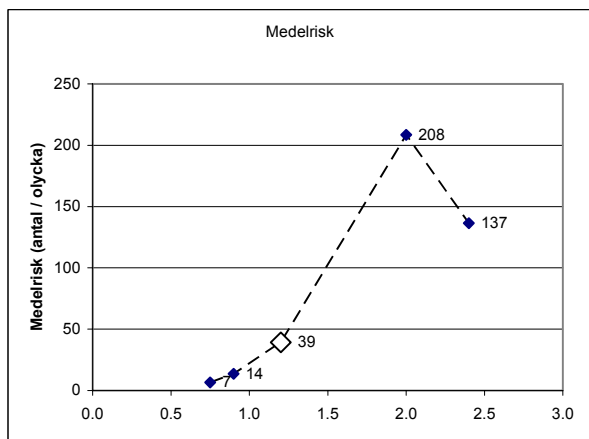
Figur F38. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



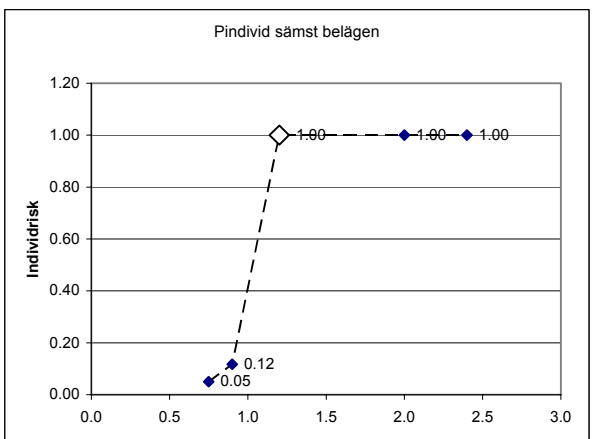
Figur F39. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F40. Individerisken.

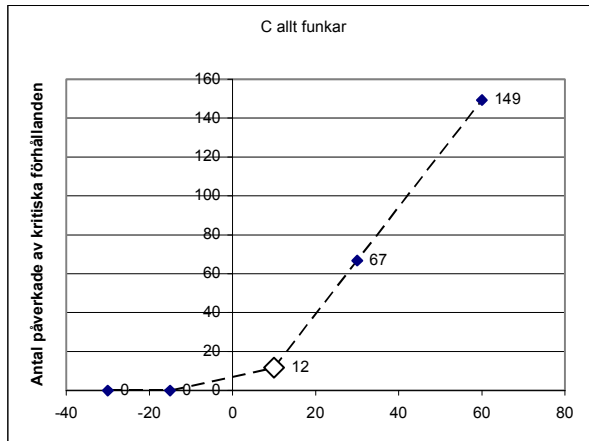


Figur F41. Medelrisken.

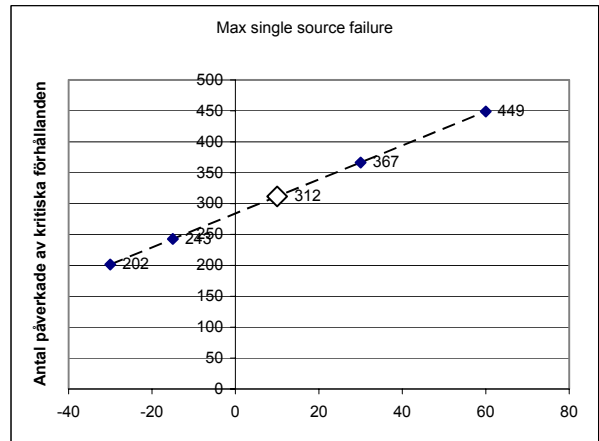


Figur F42. Individerisken för den sämst belägna personen.

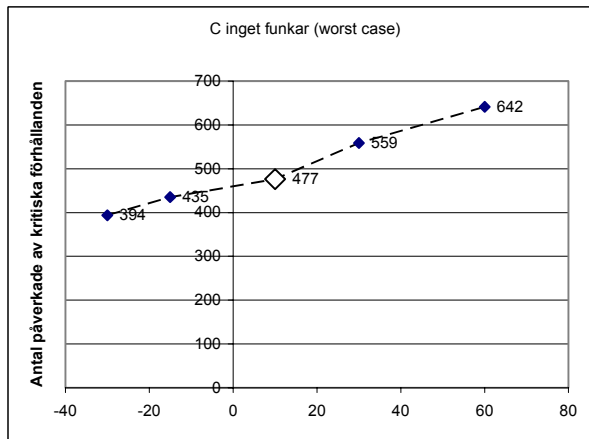
Variabel: t_d (2_8)



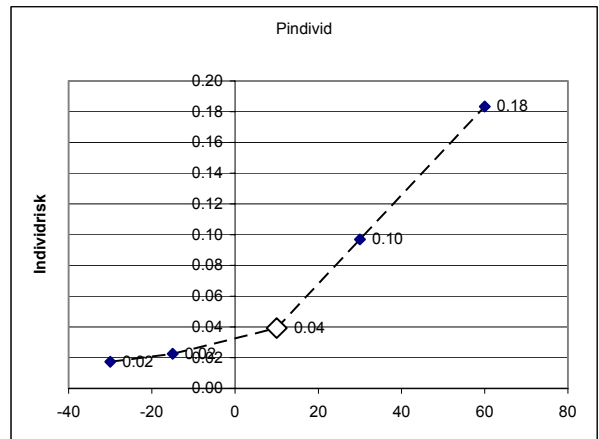
Figur F43. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



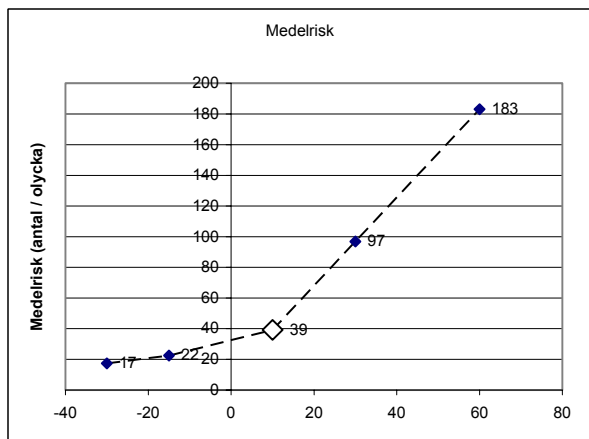
Figur F44. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



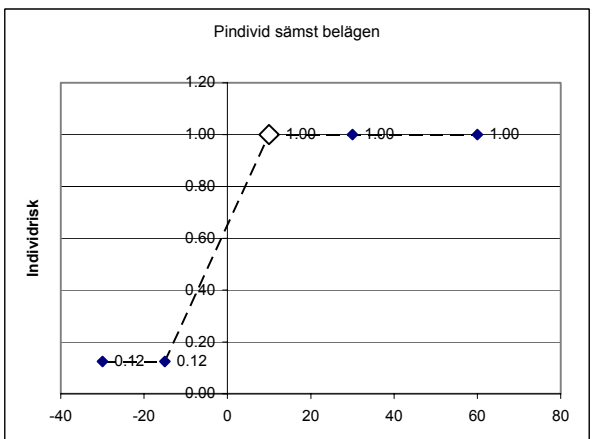
Figur F45. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F46. Individriskan.

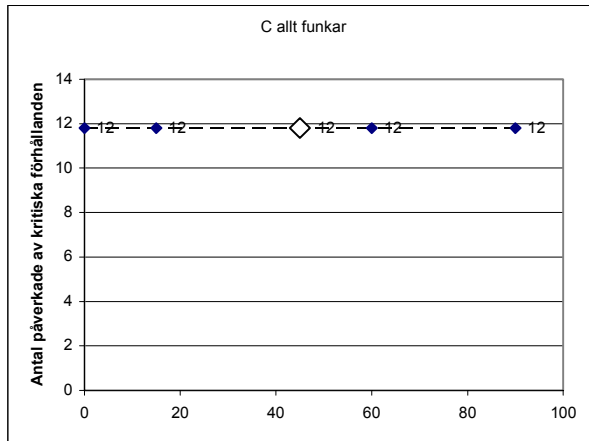


Figur F47. Medelrisken.

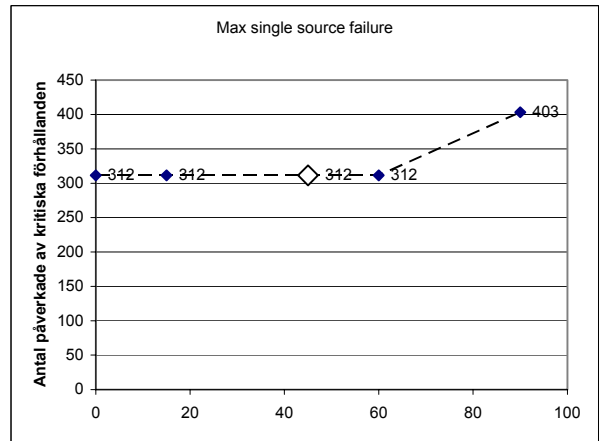


Figur F48. Individriskan för den sämst belägna personen.

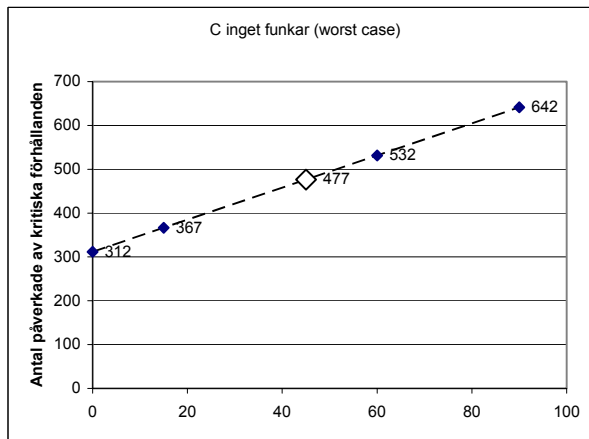
Variabel: t_d man (2_9)



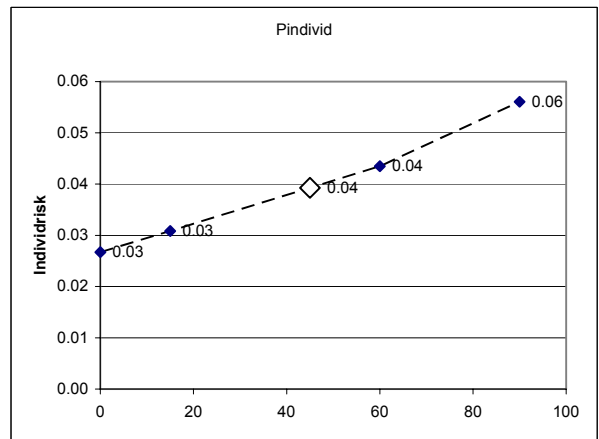
Figur F49. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



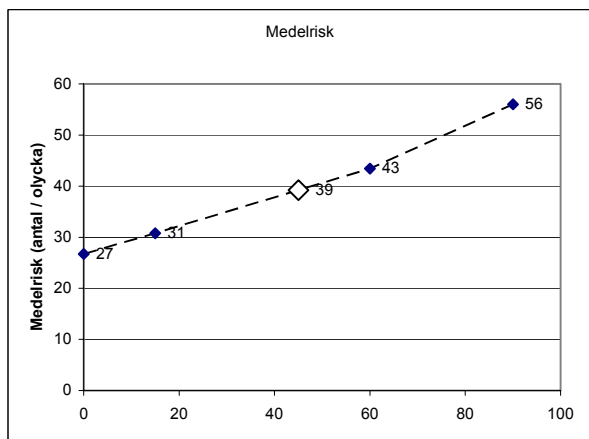
Figur F50. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



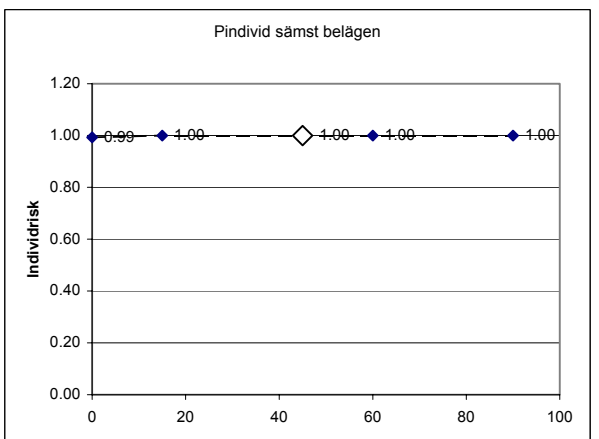
Figur F51. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F52. Individrisk.

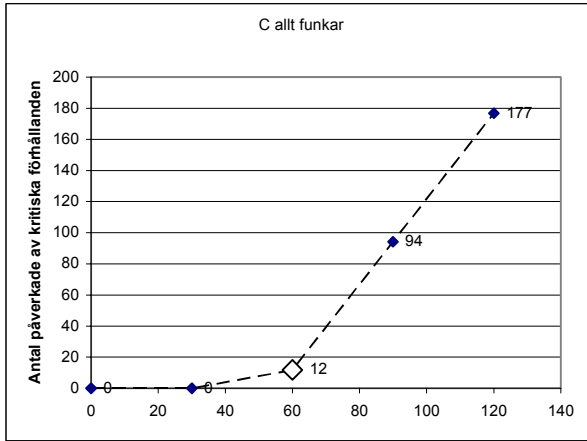


Figur F53. Medelrisken.

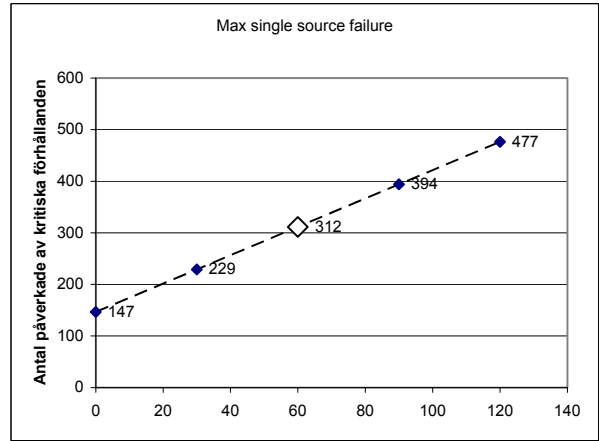


Figur F54. Individrisk för den sämst belägna personen.

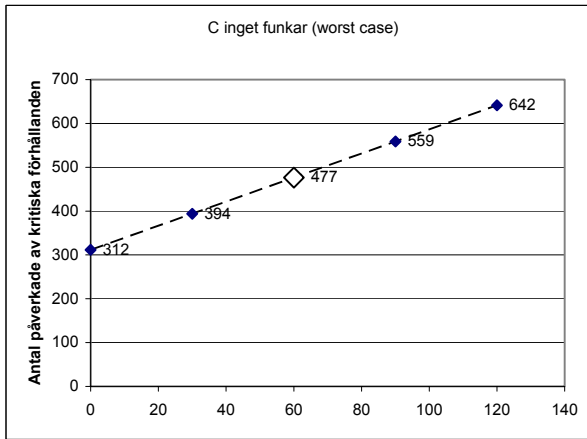
Variabel: t_r (2_10)



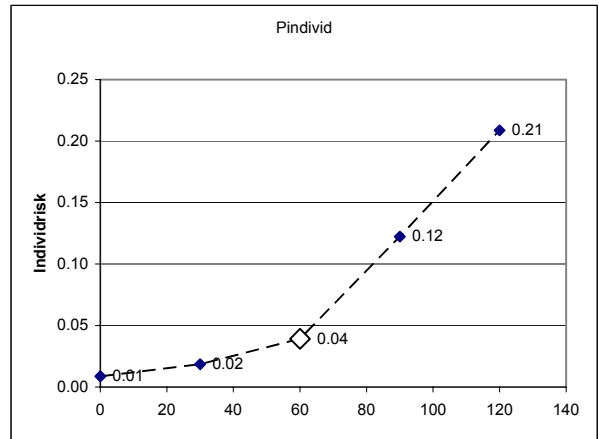
Figur F55. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



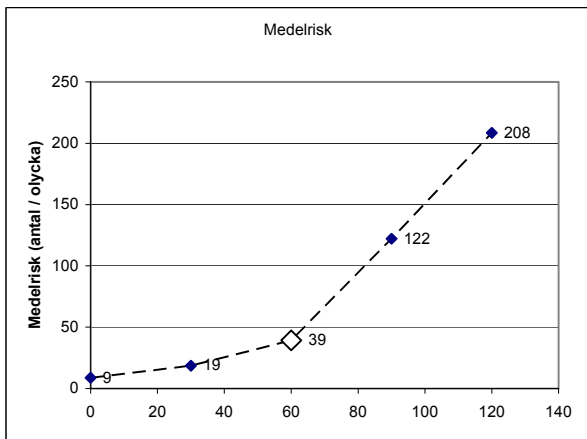
Figur F56. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



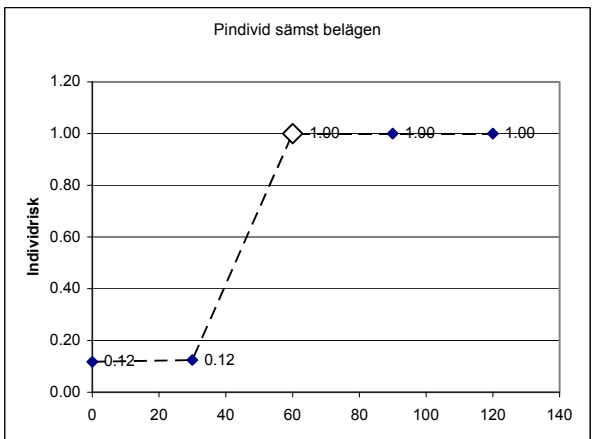
Figur F57. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F58. Individriska.

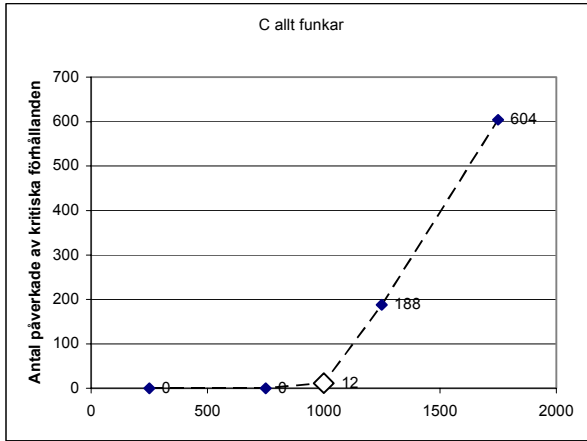


Figur F59. Medelrisken.

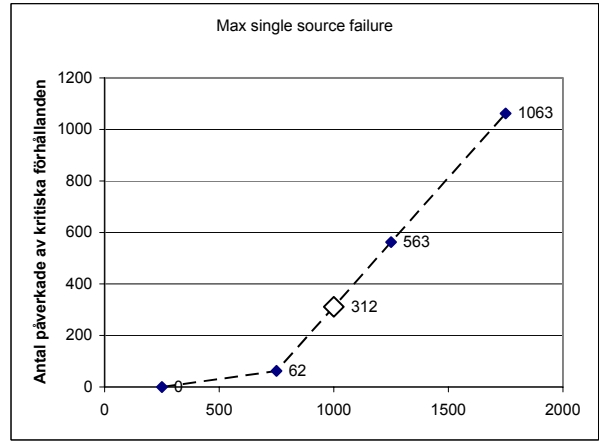


Figur F60. Individriska för den sämst belägna personen.

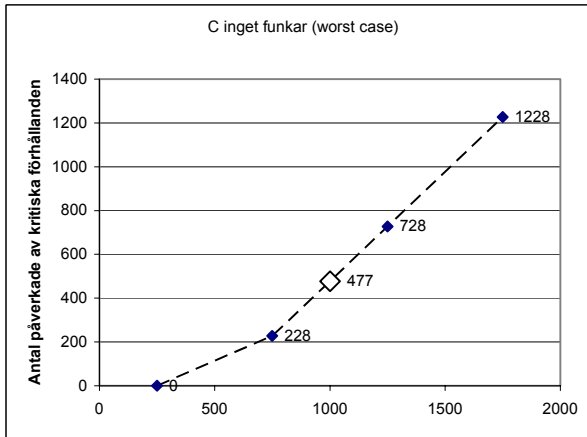
Variabel: N (2_11)



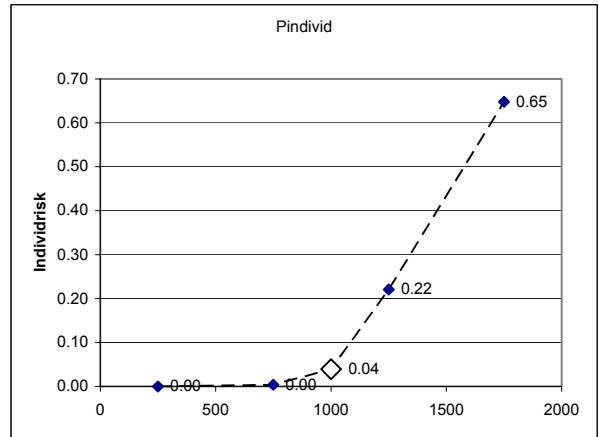
Figur F61. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



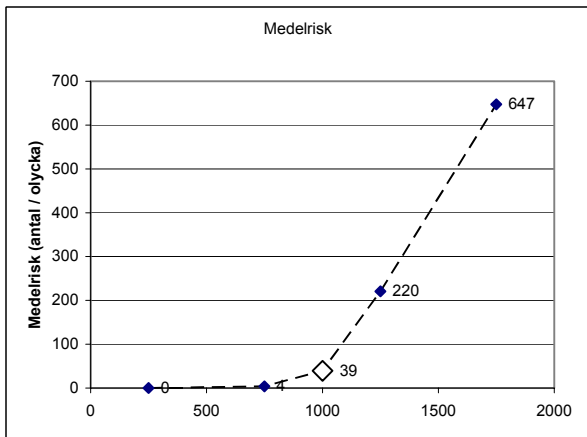
Figur F62. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



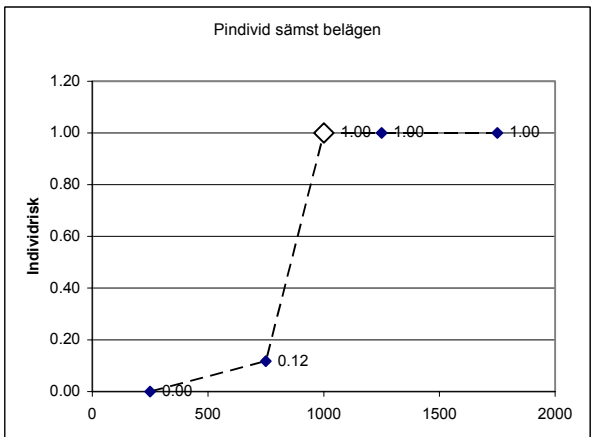
Figur F63. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F64. Individerisken.

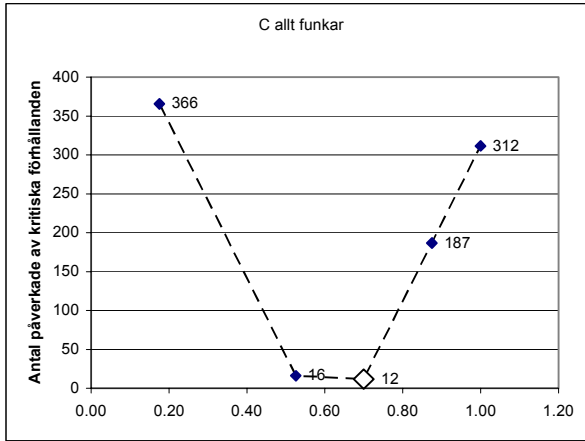


Figur F65. Medelrisken.

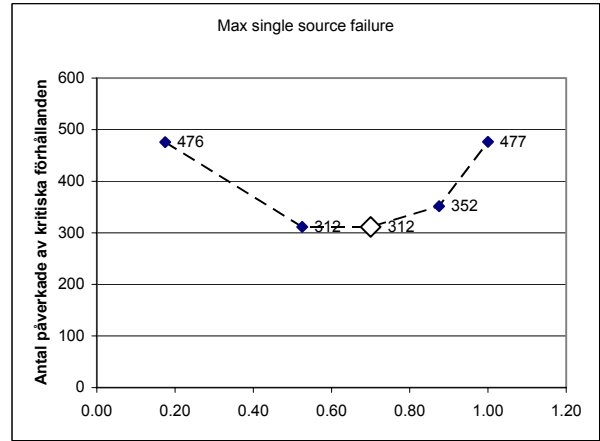


Figur F66. Individerisken för den sämst belägna personen.

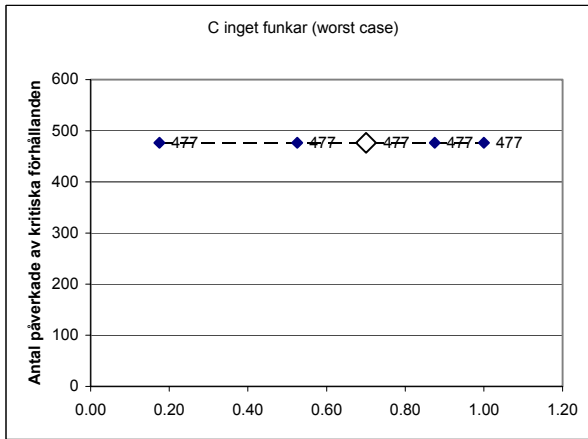
Variabel: E (2_12)



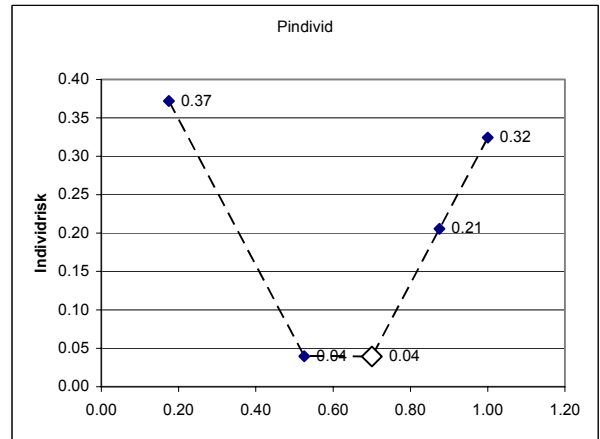
Figur F67. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



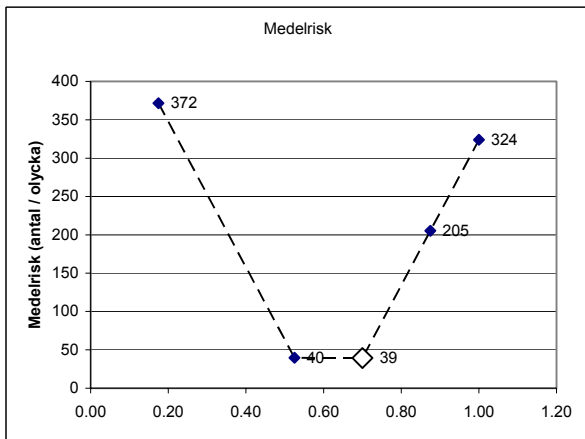
Figur F68. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



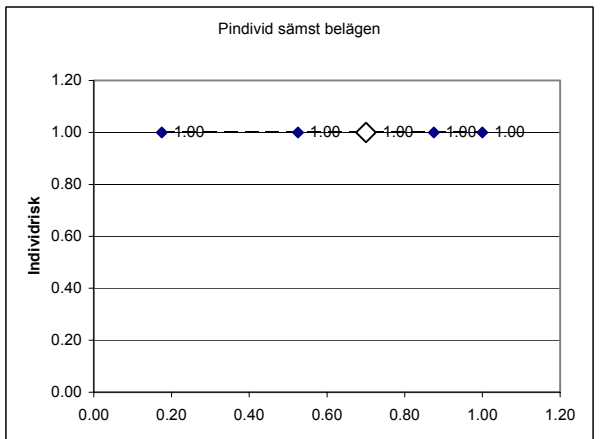
Figur F69. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F70. Individerisken.

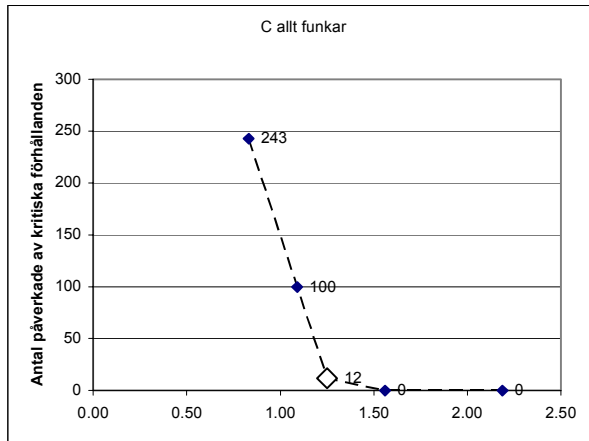


Figur F71. Medelrisken.

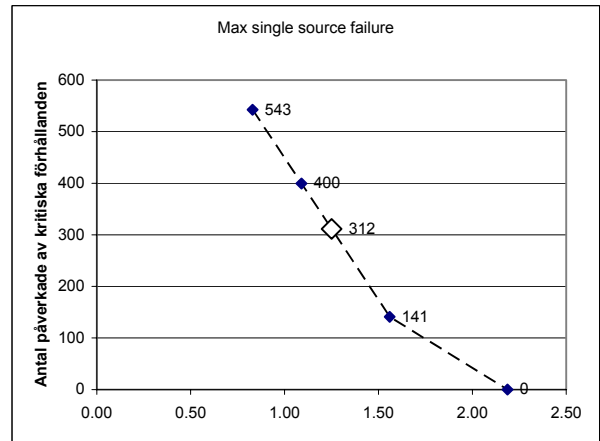


Figur F72. Individerisken för den sämst belägna personen.

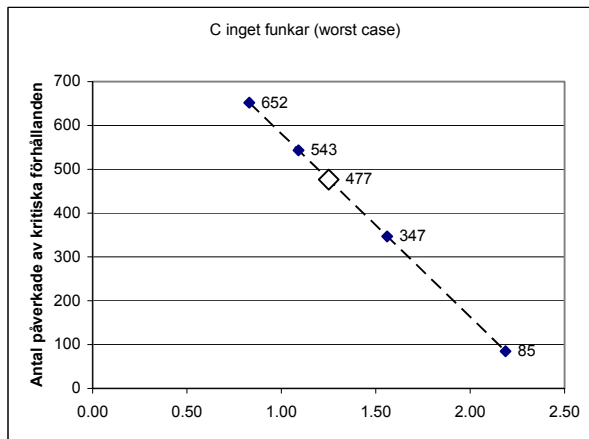
Variabel: $f_{känd}$ (2_13)



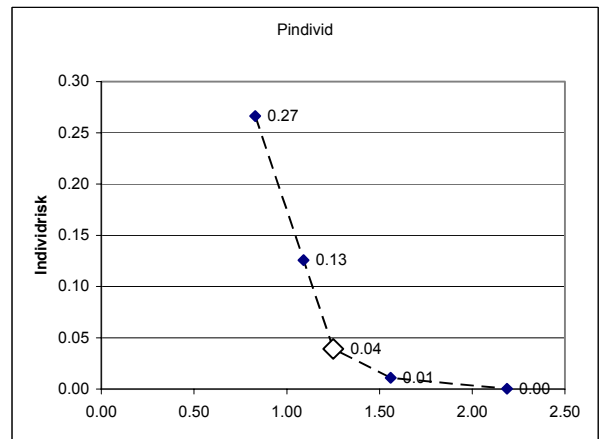
Figur F73. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



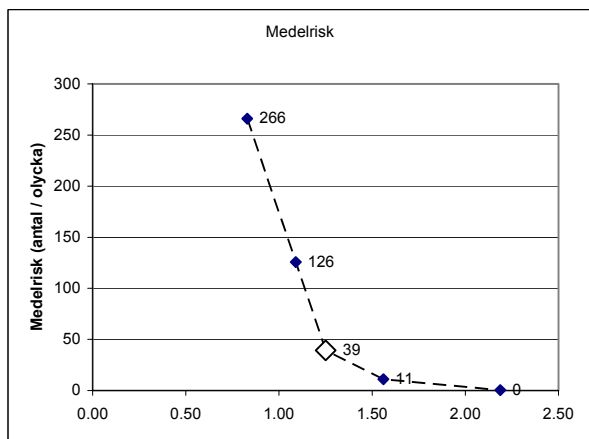
Figur F74. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



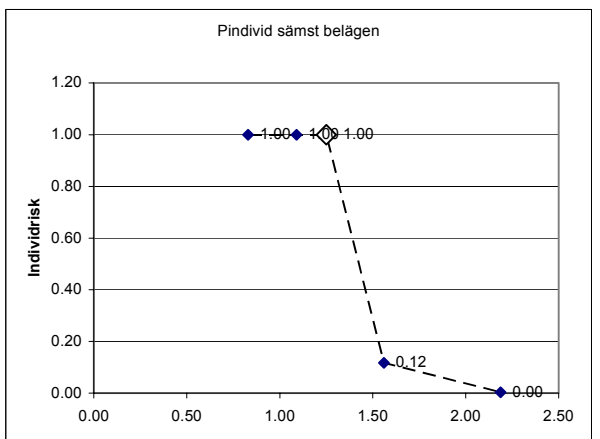
Figur F75. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F76. Individrisk.

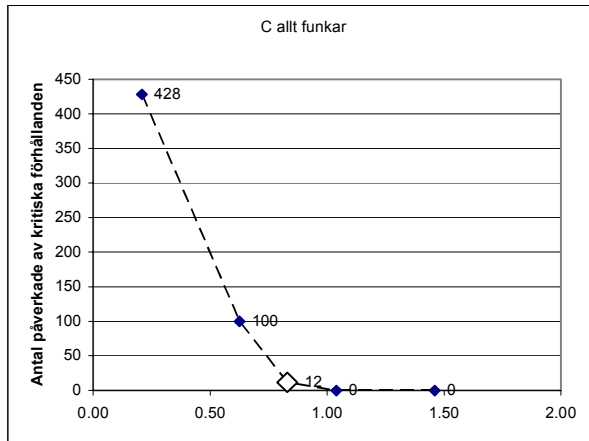


Figur F77. Medelrisken.

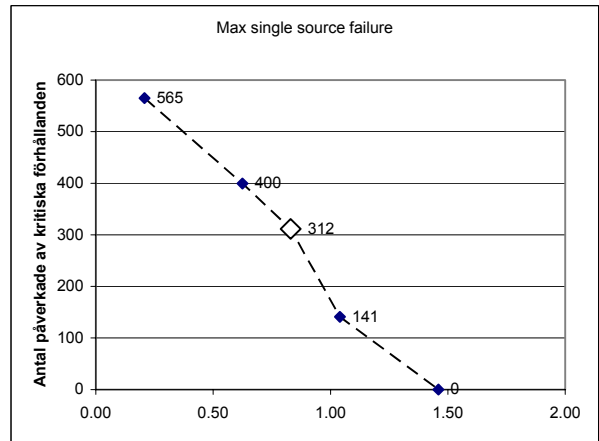


Figur F78. Individrisk för den sämst belägna personen.

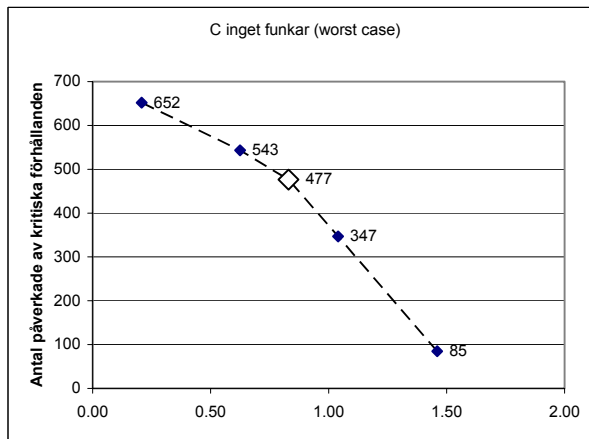
Variabel: $f_{okänd} (2_{14})$



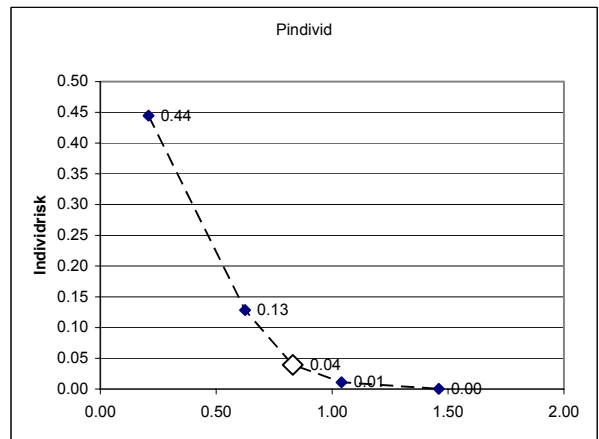
Figur F79. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



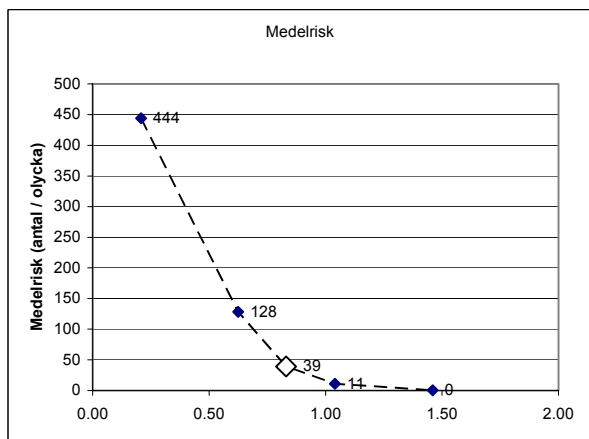
Figur F80. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



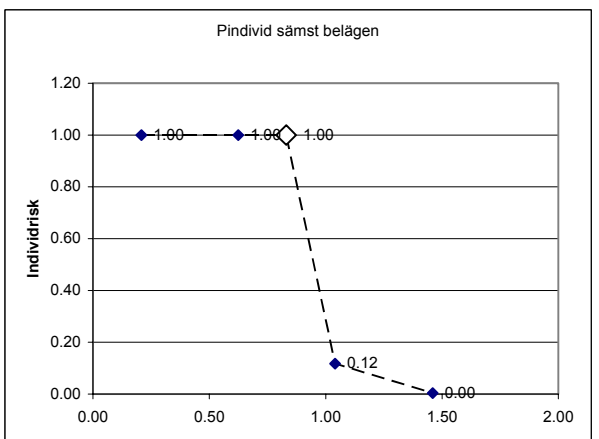
Figur F81. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F82. Individrisk.

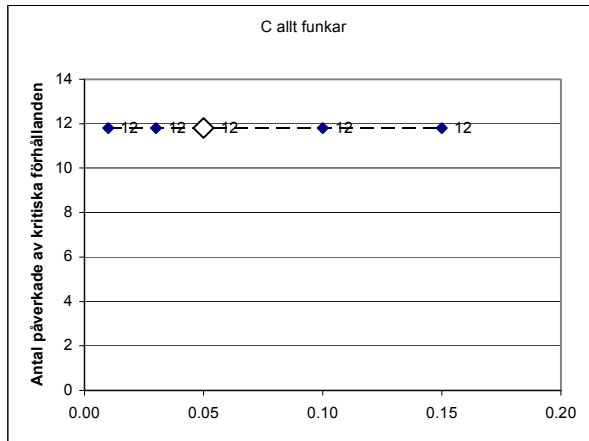


Figur F83. Medelrisken.

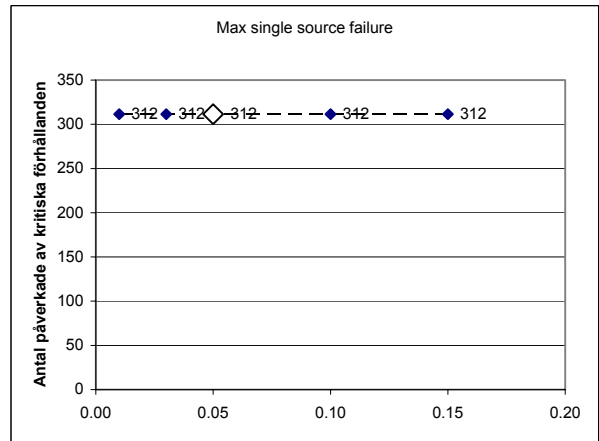


Figur F84. Individrisk för den sämst belägna personen.

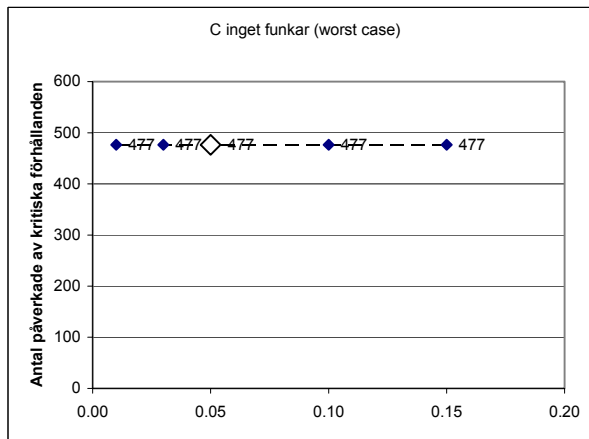
Variabel: $P_{f_utr\ larm} (2_15)$



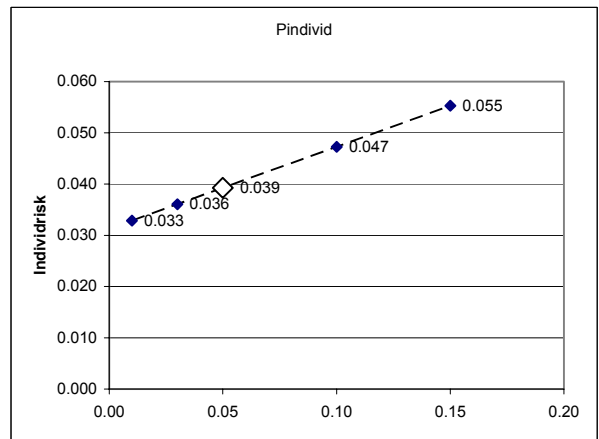
Figur F85. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



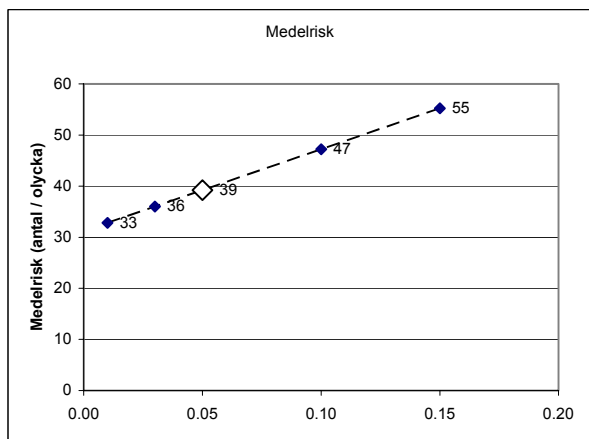
Figur F86. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



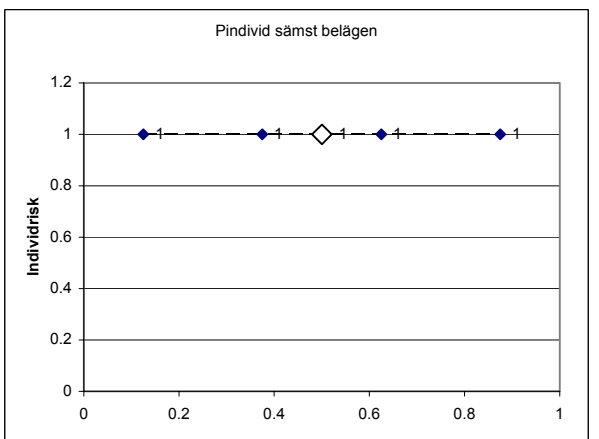
Figur F87. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F88. Individerisken.

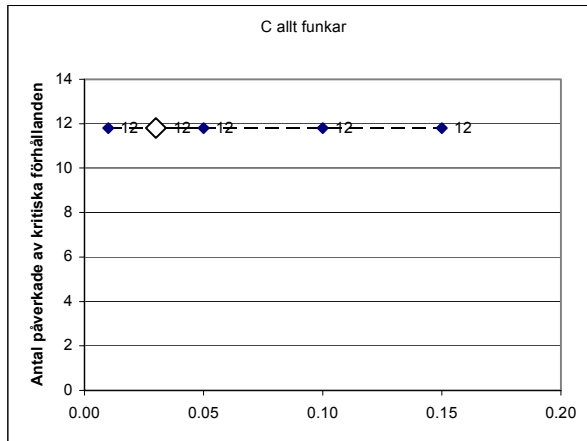


Figur F89. Medelrisken.

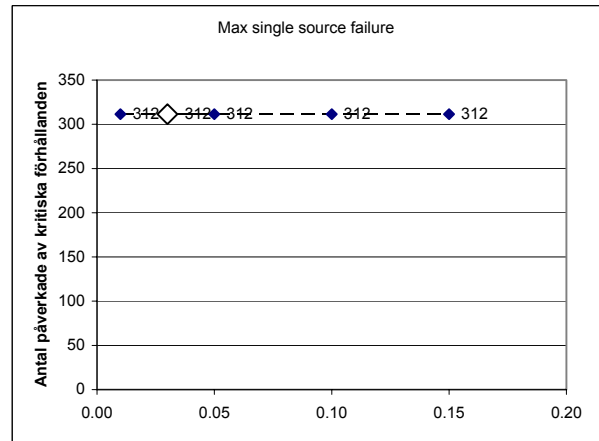


Figur F90. Individerisken för den sämst belägna personen.

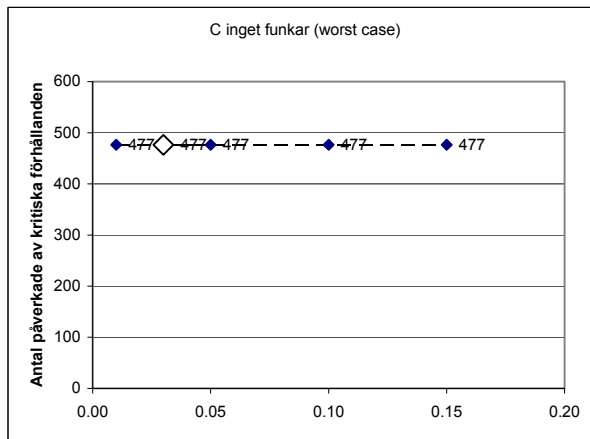
Variabel: P_f_RD (2_16)



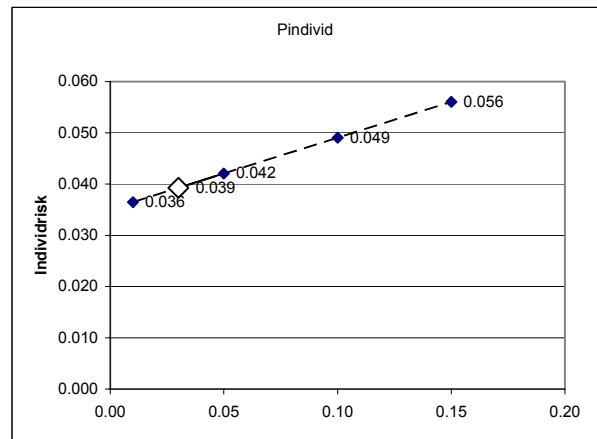
Figur F91. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



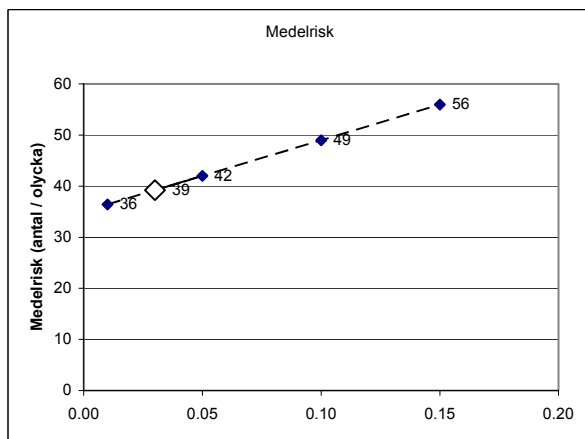
Figur F92. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



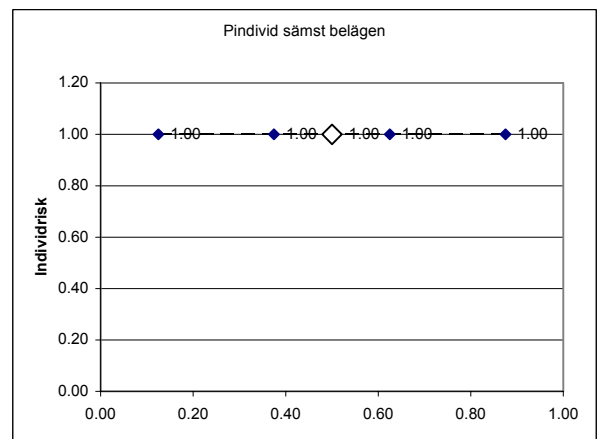
Figur F93. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F94. Individerisken.

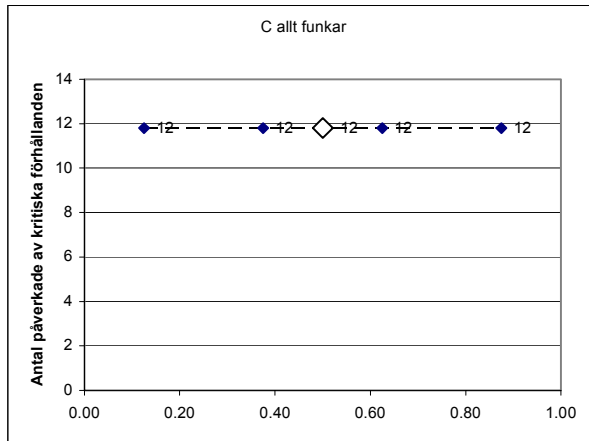


Figur F95. Medelrisken.

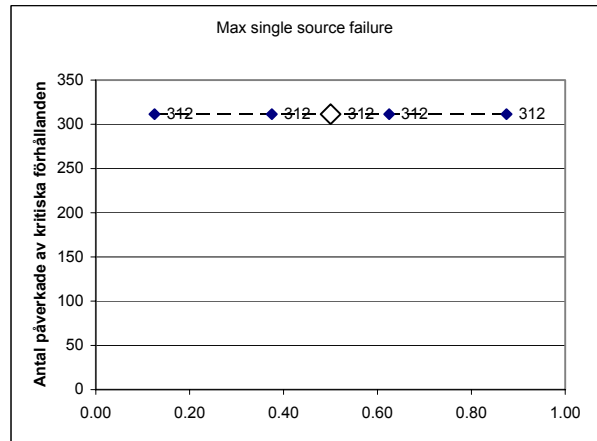


Figur F96. Individerisken för den sämst belägna personen.

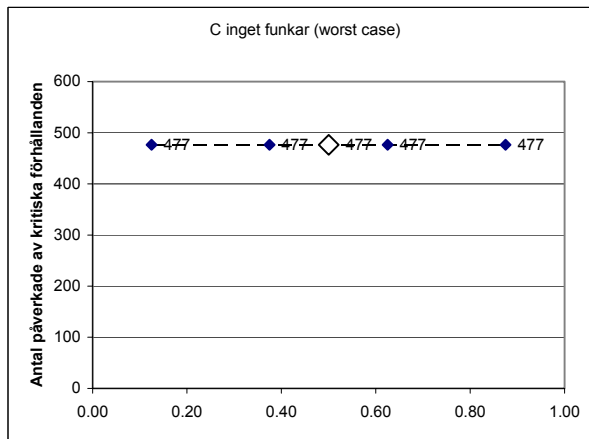
Variabel: $P_{f_man\ akt\ (2_17)}$



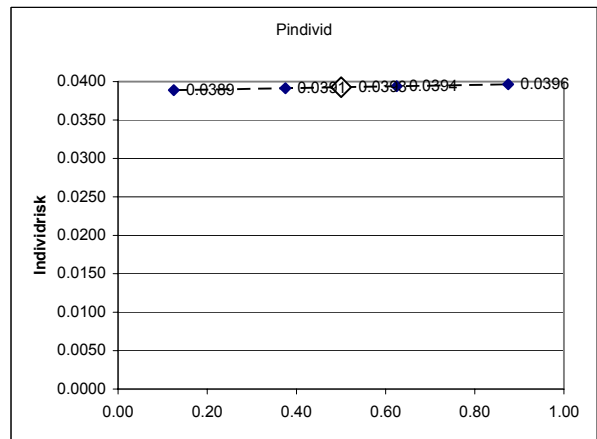
Figur F97. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



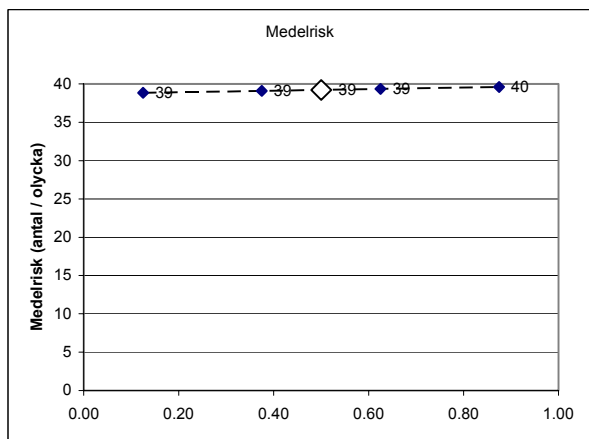
Figur F98. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



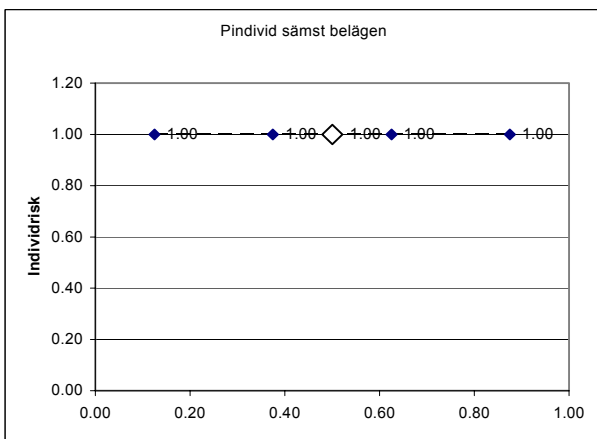
Figur F99. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F100. Individerisken.

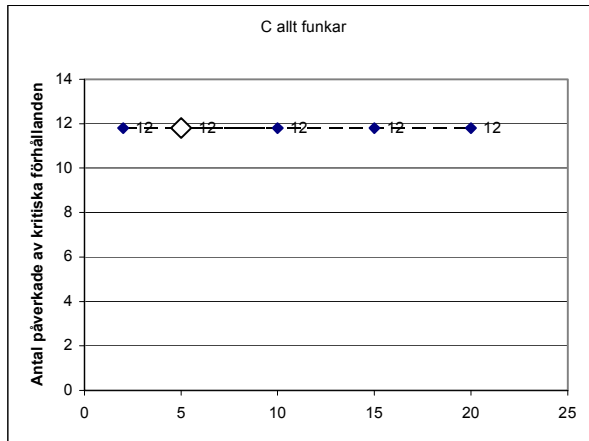


Figur F101. Medelrisken.

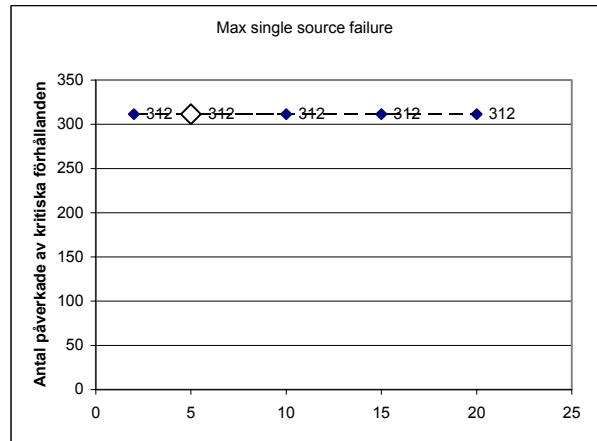


Figur F102. Individerisken för den sämst belägna personen.

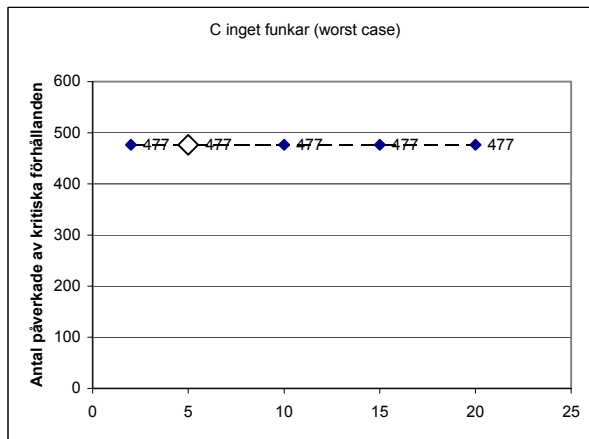
Variabel: P_f_utgång (2_18)



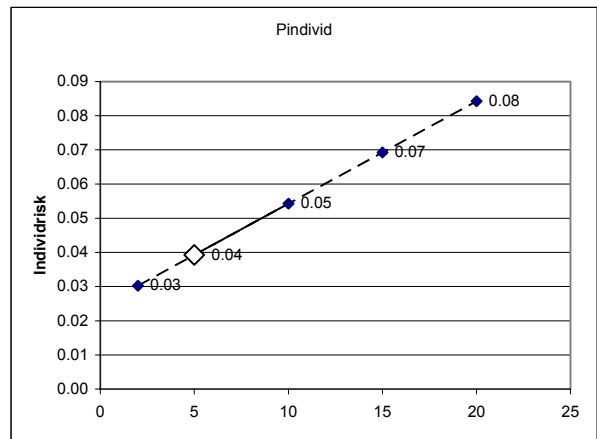
Figur F103. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



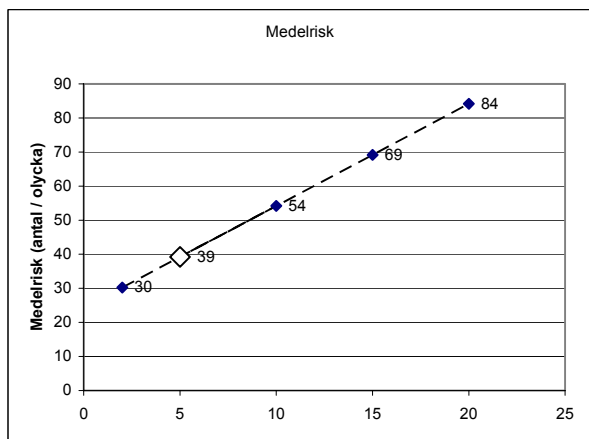
Figur F104. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



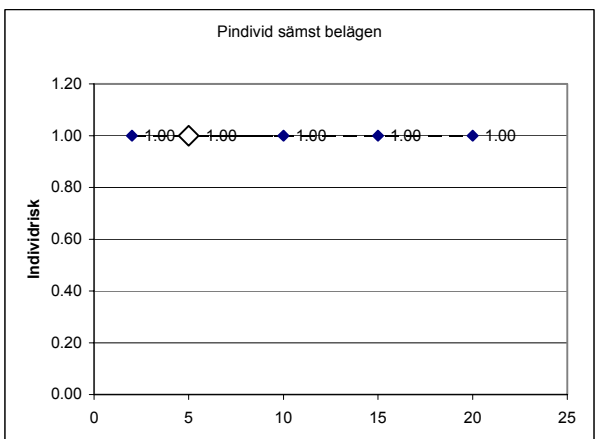
Figur F105. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F106. Individerisken.

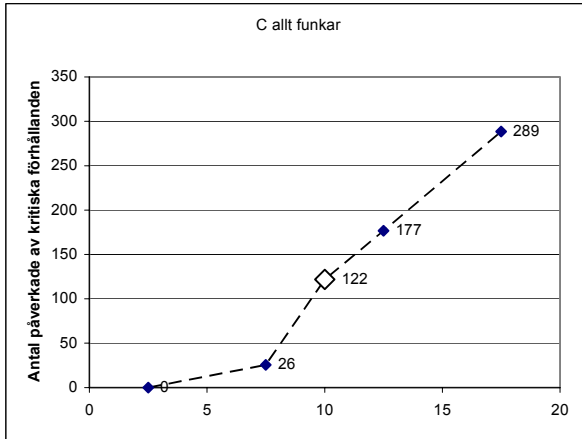


Figur F107. Medelrisken.

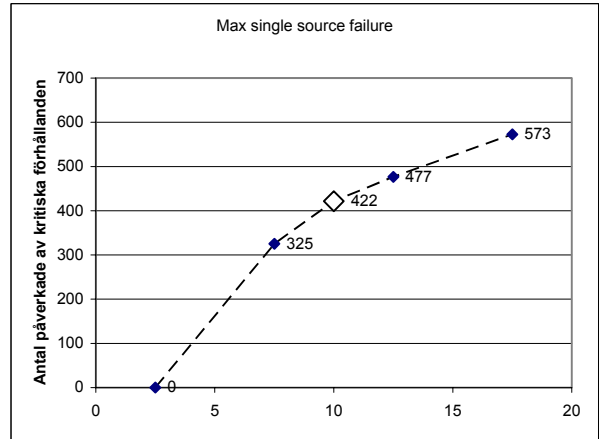


Figur F108. Individerisken för den sämst belägna personen.

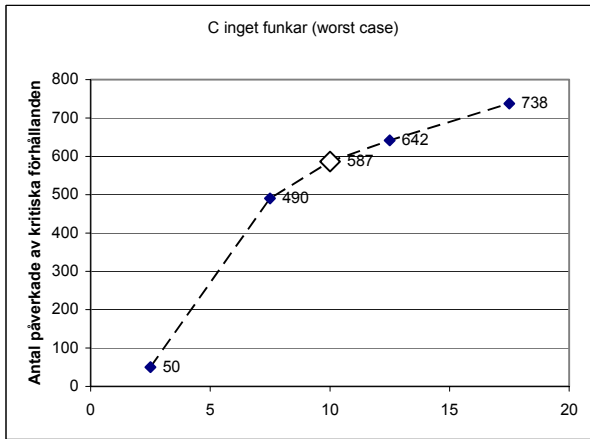
Variabel: Q (2_20)



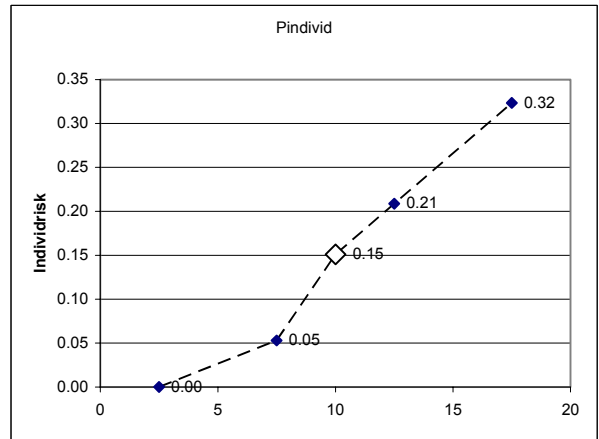
Figur F109. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



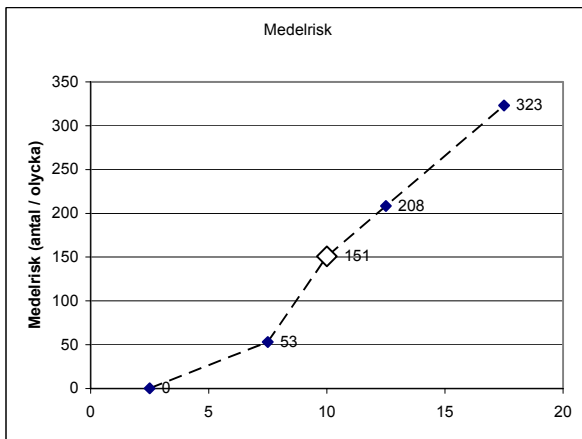
Figur F110. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



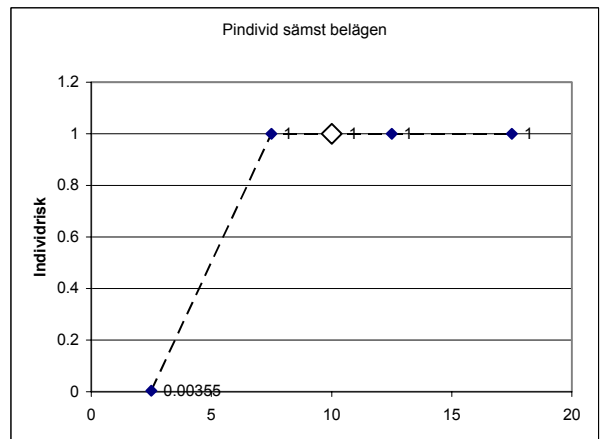
Figur F111. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F112. Individerisken.

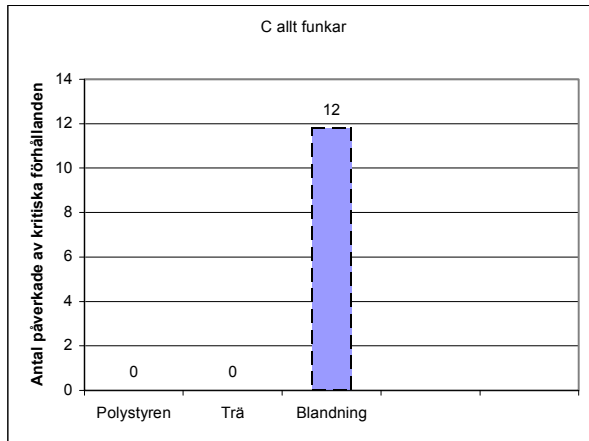


Figur F113. Medelrisken.

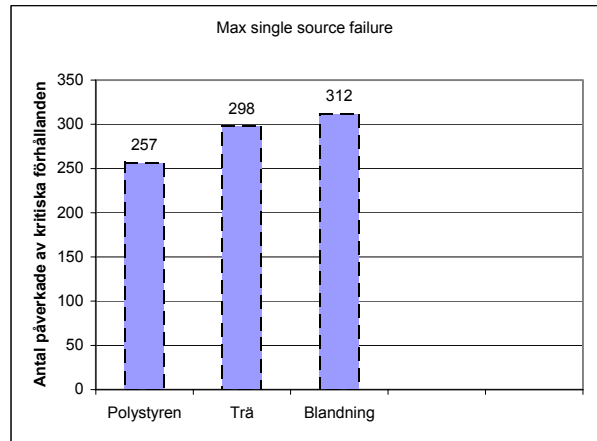


Figur F114. Individerisken för den sämst belägna personen.

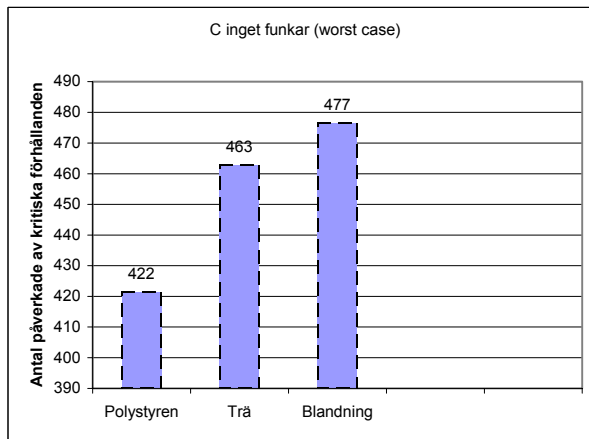
Variabel: Bränsletyp (2_19)



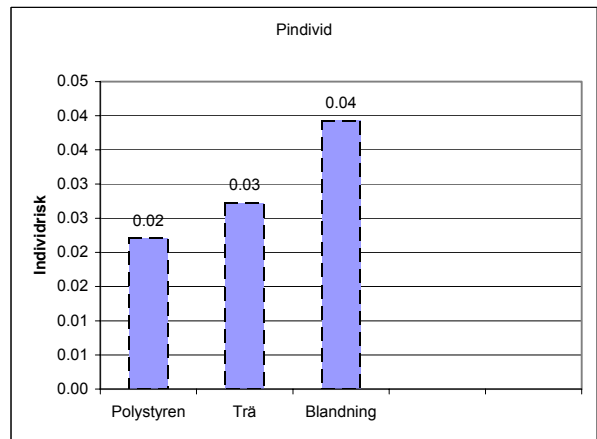
Figur F115. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



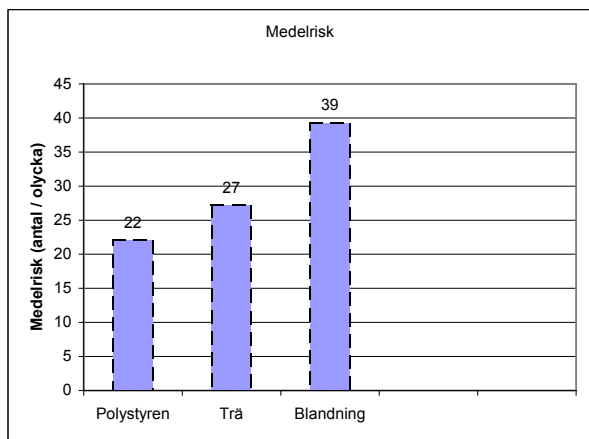
Figur F116. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



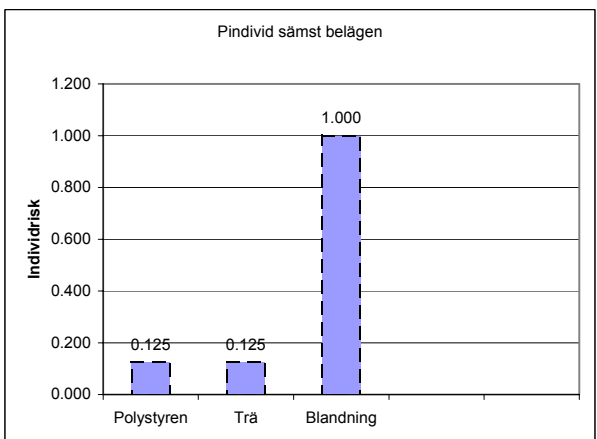
Figur F117. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F118. Individerisken.

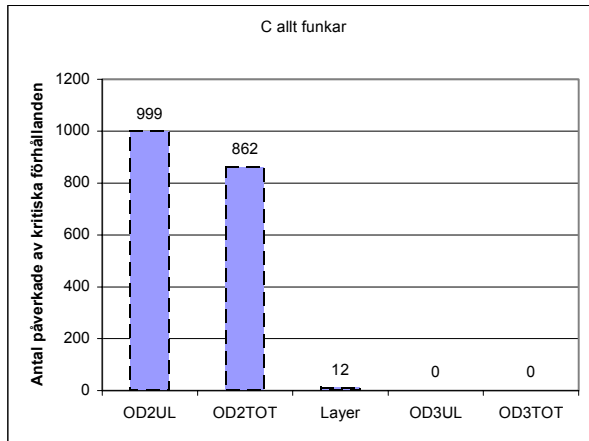


Figur F119. Medelrisken.

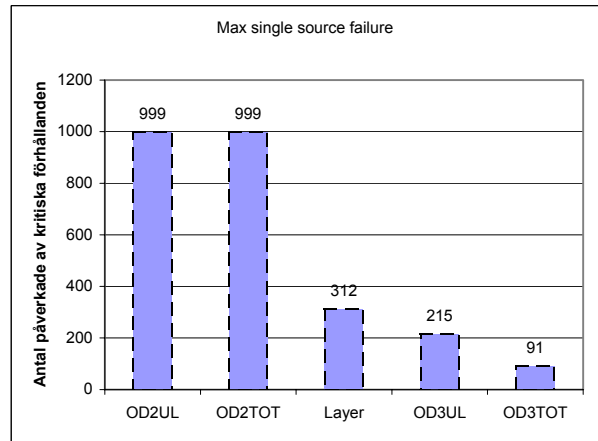


Figur F120. Individerisken för den sämst belägna personen.

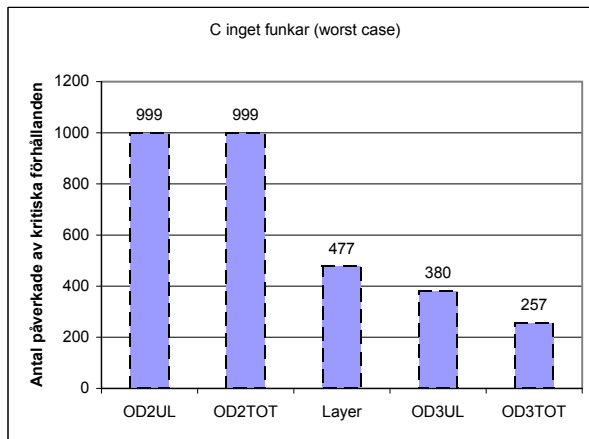
Variabel: Val av kritiska förhållanden (2_21)



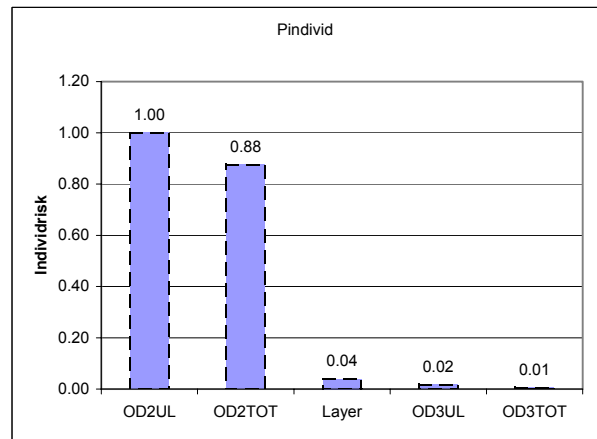
Figur F121. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



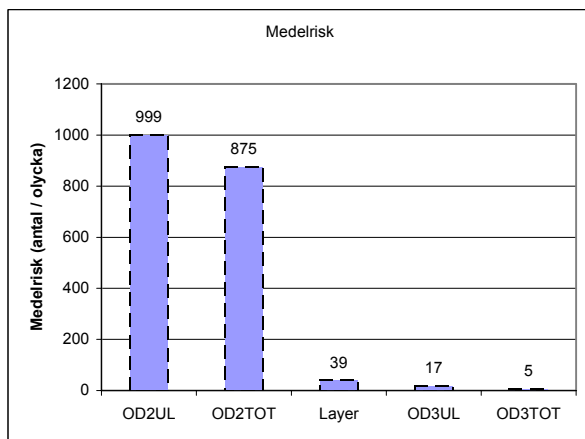
Figur F122. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



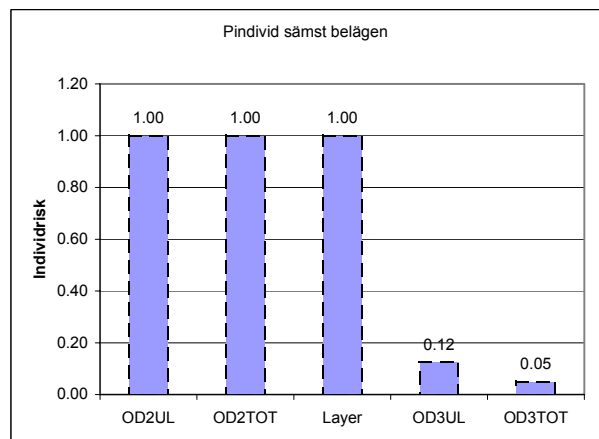
Figur F123. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F124. Individriska.

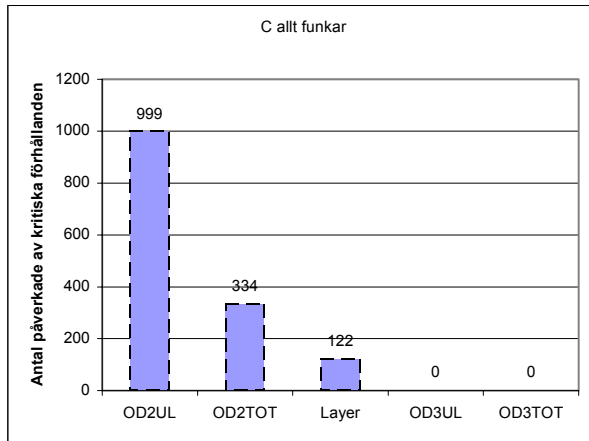


Figur F125. Medelrisken.

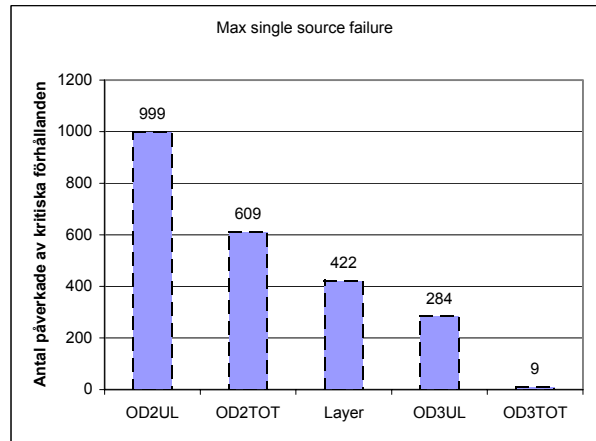


Figur F126. Individriska för den sämst belägna personen.

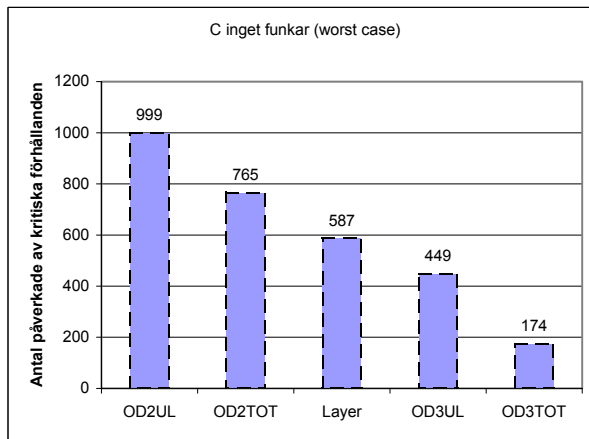
Variabel: Val av kritiska förhållanden, välventilerat (2_22)



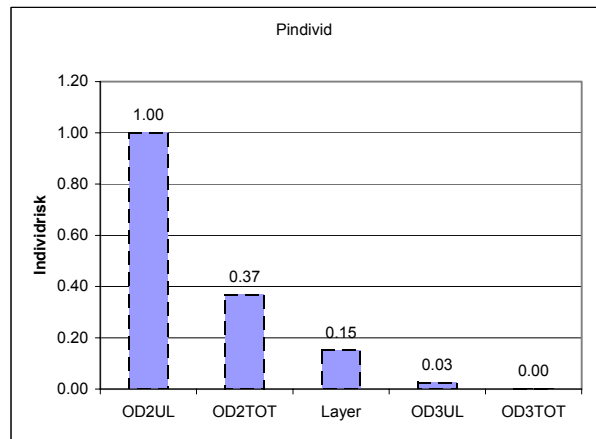
Figur F127. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



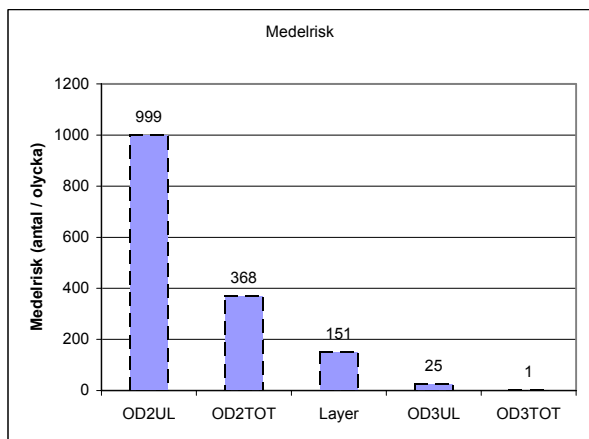
Figur F128. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



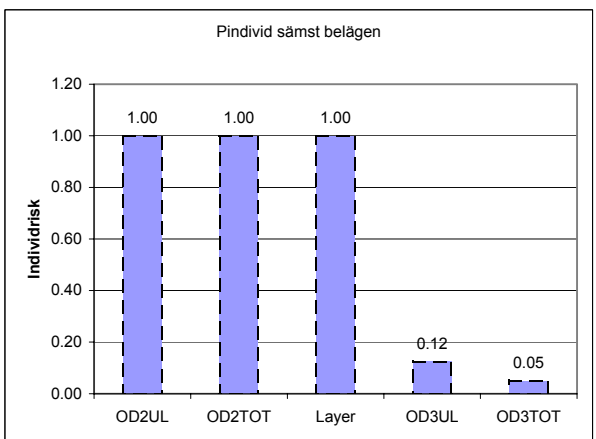
Figur F129. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F130. Individrisk.

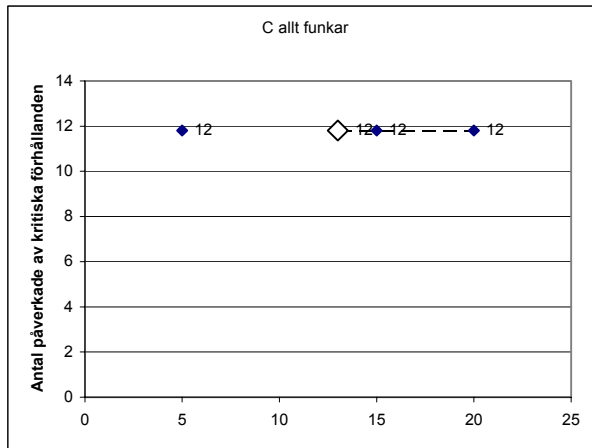


Figur F131. Medelrisken.

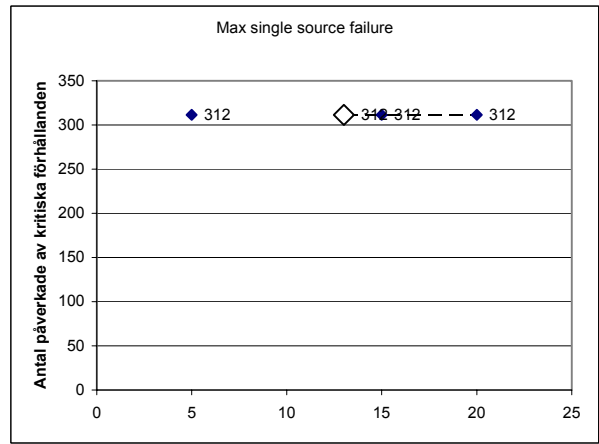


Figur F132. Individrisk för den sämst belägna personen.

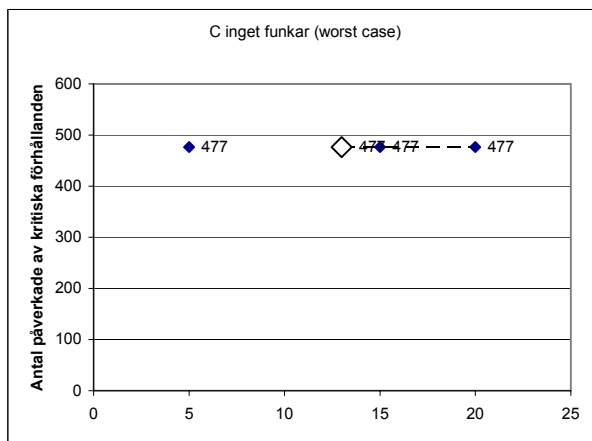
Variabel: Δh_c (2_23)



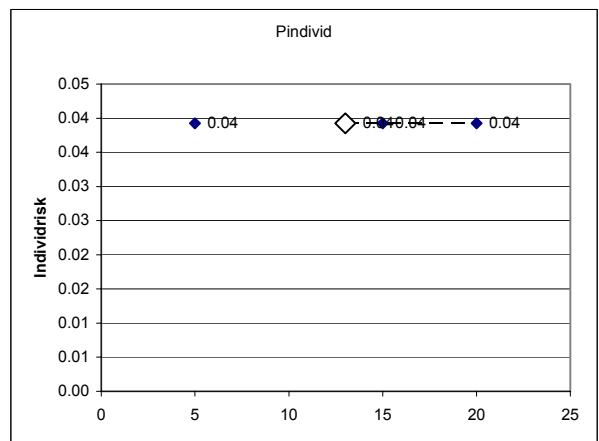
Figur F139. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



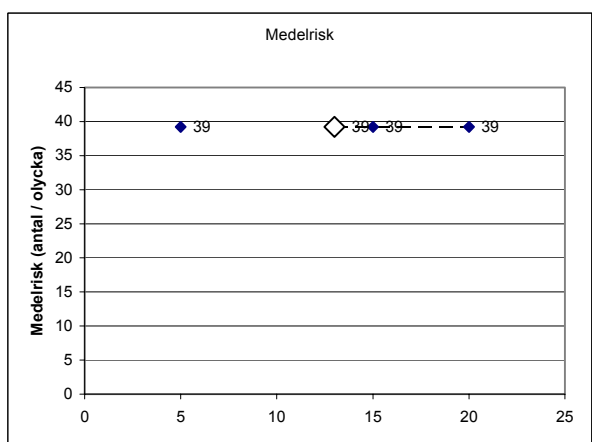
Figur F140. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



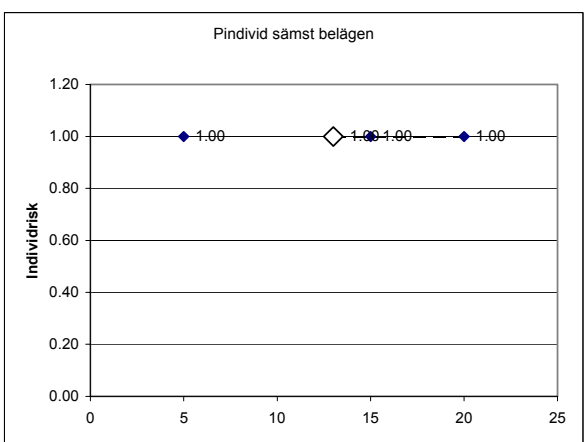
Figur F141. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F142. Individerisken.

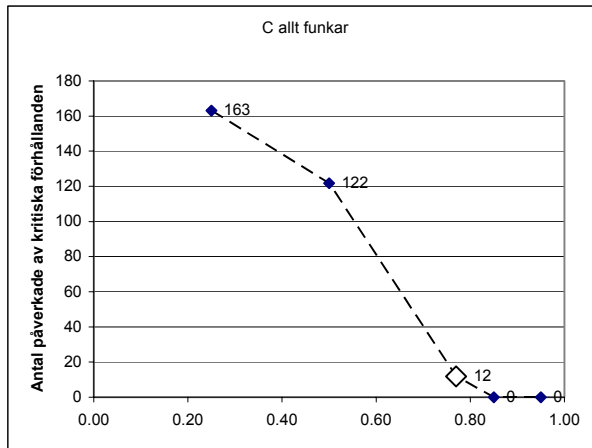


Figur F143. Medelrisken.

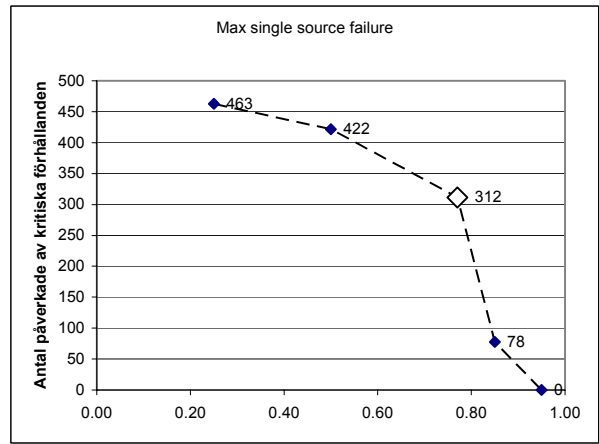


Figur F144. Individerisken för den sämst belägna personen.

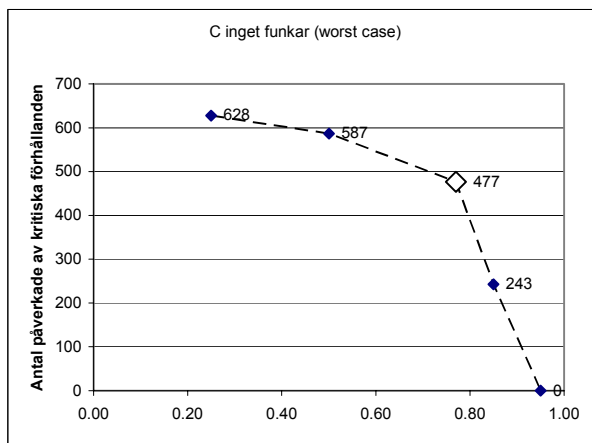
Variabel: ϵ_r (2_24)



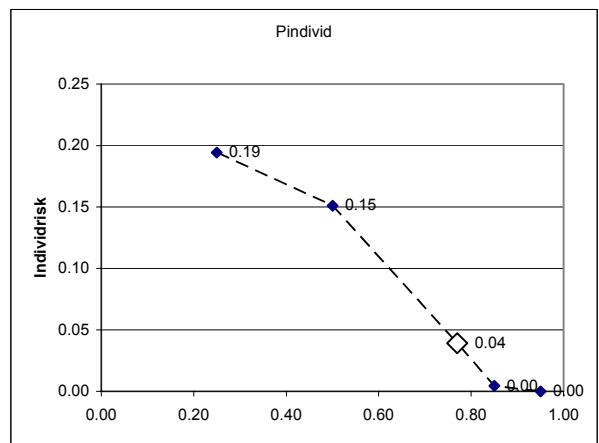
Figur F133. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



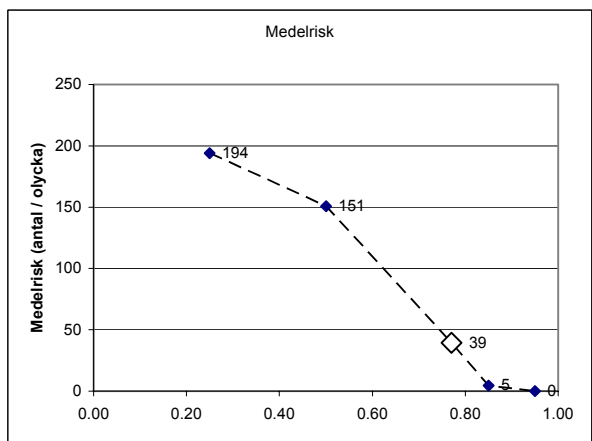
Figur F134. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



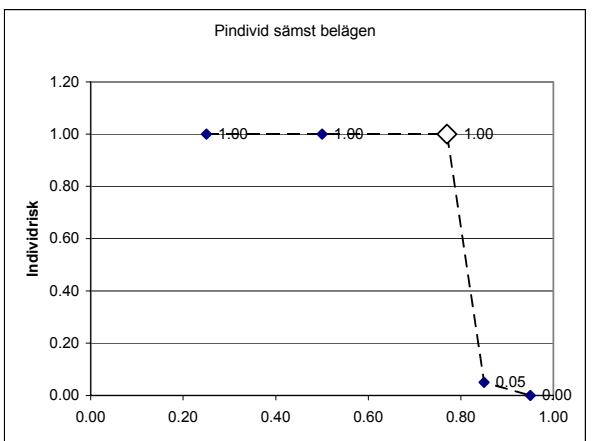
Figur F135. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F136. Individerisken.

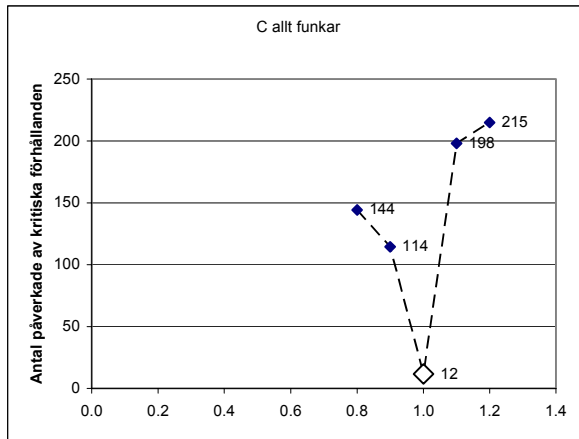


Figur F137. Medelrisken.

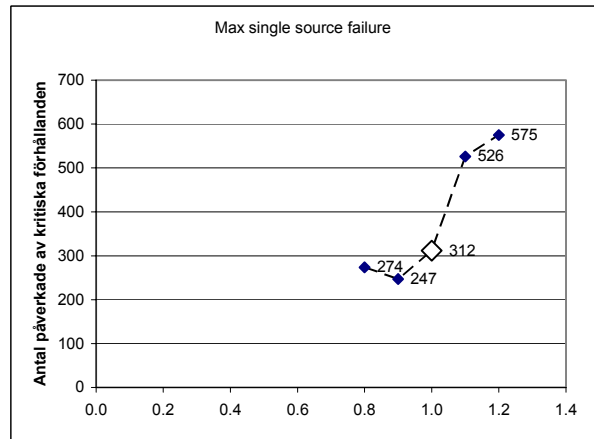


Figur F138. Individerisken för den sämst belägna personen.

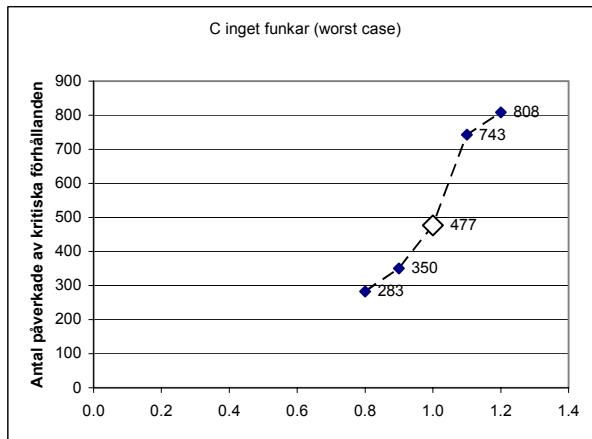
Variabel: ρ_{dim} (2_25)



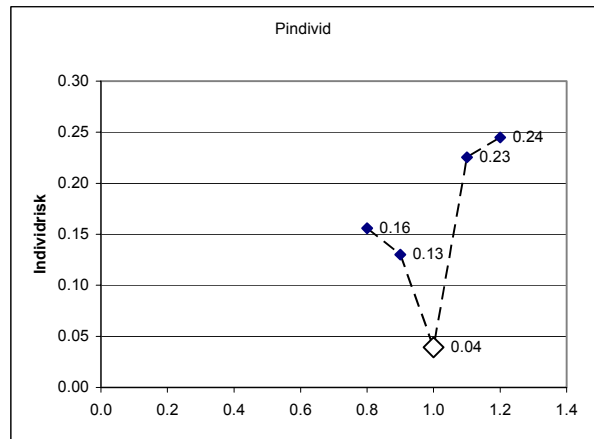
Figur F145. Konsekvensen när alla tekniska system fungerar.



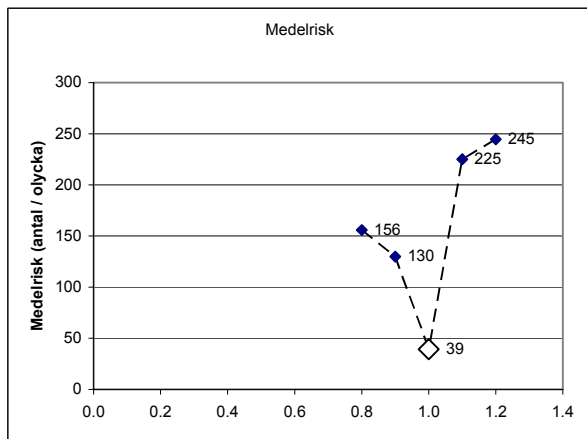
Figur F146. Största konsekvensen vid ett felfungerande system.



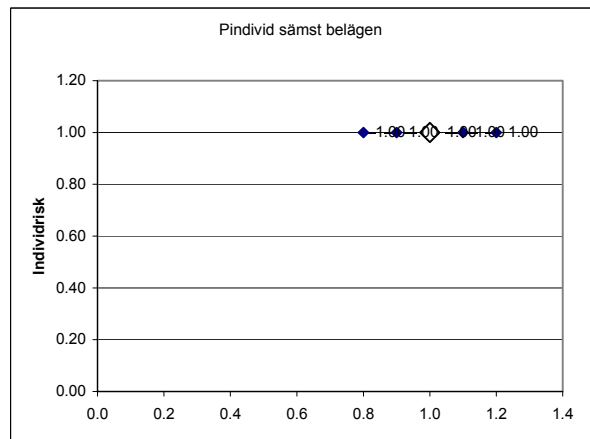
Figur F147. Konsekvensen av "the worst case scenario".



Figur F148. Individerisken.



Figur F149. Medelrisken.



Figur F150. Individerisken för den sämst belägna personen.

Bilaga G – Resultat från osäkerhetsanalysen

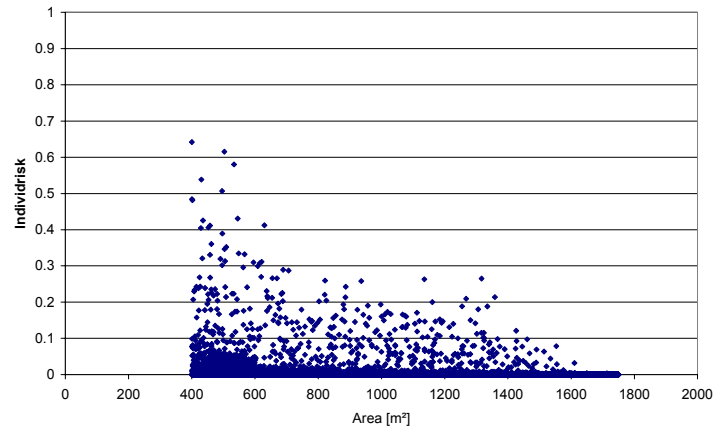
Typbrand 1 - Brand i samlingslokalen (alla variabler)

Tabell G1. Korrelationsanalys.

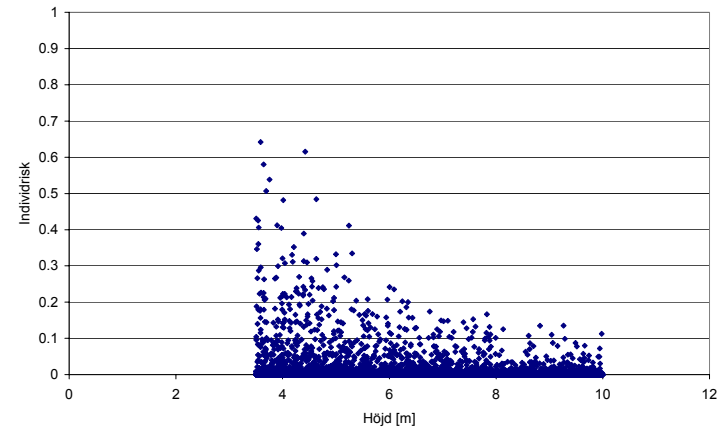
Totala datamängden			
	Medelrisk	$P_{individ}$	$P_{sämst}$
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.89	1.00	
$P_{sämst}$	0.81	0.74	1.00
Alfa	0.31	0.31	0.35
Osäkerhetsfaktor N	0.25	0.21	0.29
Volym	-0.18	-0.23	-0.20
h	-0.17	-0.17	-0.17
A	-0.13	-0.21	-0.14
% väg in	0.09	0.06	0.08
Larm / N	0.04	0.03	0.03
Ingen aktivering / N	0.02	0.02	0.01
Ej larm / N	0.02	0.02	0.01
Automatisk detektion	0.02	0.02	0.02
Manuell aktivering	0.01	0.01	0.02

Pindivid (sämst) > 0			
	Medelrisk	$P_{individ}$	$P_{sämst}$
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.88	1.00	
$P_{sämst}$	0.79	0.71	1.00
Alfa	0.38	0.37	0.41
Osäkerhetsfaktor N	0.28	0.18	0.31
h	-0.23	-0.24	-0.24
% väg in	0.14	0.10	0.13
A	0.10	-0.10	0.15
Volym	-0.10	-0.22	-0.05
Larm / N	0.06	0.05	-0.02
Automatisk detektion	0.03	0.04	0.03
Ingen aktivering / N	0.01	0.01	-0.02
Ej larm / N	0.01	0.01	-0.02
Manuell aktivering	0.00	0.00	0.02

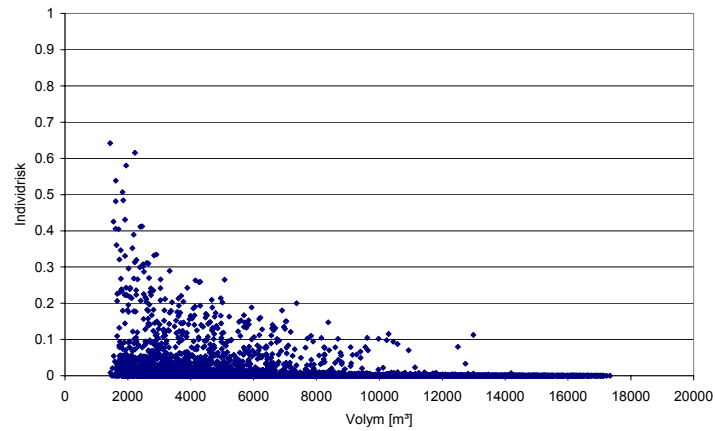
De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.



Figur G1. P_{indiv} plottat mot area.



Figur G2. P_{indiv} plottat mot höjd.



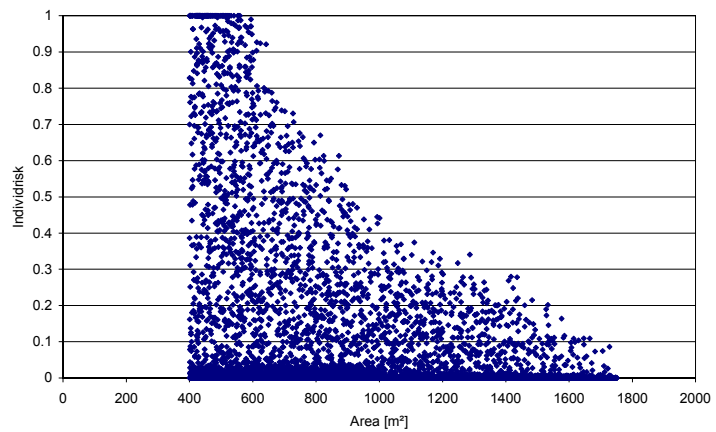
Figur G3. P_{indiv} plottat mot volym.

Typbrand 2 - Brand i ett intilliggande utrymme (alla variabler)

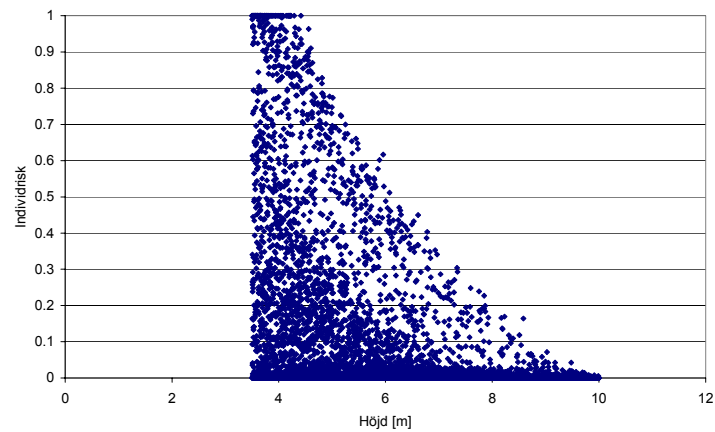
Tabell G2. Korrelationsanalys.

Totala datamängden			
	Medelrisk	$P_{individ}$	$P_{sämst}$
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.89	1.00	
Psämst	0.78	0.71	1.00
h	-0.50	-0.45	-0.53
Volym	-0.48	-0.49	-0.55
Osäkerhetsfaktor N	0.33	0.18	0.35
A	-0.33	-0.42	-0.37
% väg in	0.04	0.03	0.07
Automatisk detektion	0.03	0.03	0.02
Larm / N	0.02	0.03	0.02
Manuell aktivering	0.00	0.00	0.00
Ej larm / N	0.00	0.01	0.01
Ingen aktivering / N	0.00	0.00	-0.01
Pindivid (sämst) > 0			
	Medelrisk	$P_{individ}$	$P_{sämst}$
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.87	1.00	
Psämst	0.70	0.62	1.00
h	-0.55	-0.48	-0.53
Volym	-0.52	-0.64	-0.48
Osäkerhetsfaktor N	0.26	0.01	0.21
A	-0.18	-0.40	-0.11
Automatisk detektion	0.06	0.06	0.06
Ej larm / N	-0.05	-0.04	-0.07
Larm / N	0.04	0.04	-0.09
Ingen aktivering / N	-0.04	-0.03	-0.09
% väg in	0.03	0.01	0.07
Manuell aktivering	-0.01	-0.01	-0.01

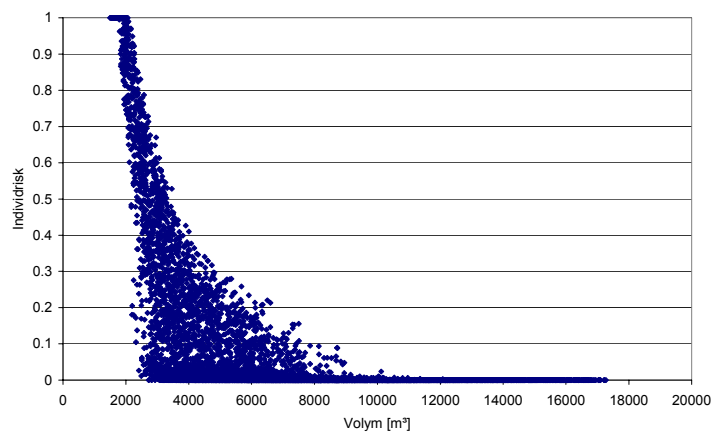
De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.



Figur G4. P_{individ} plottat mot area.



Figur G5. P_{individ} plottat mot höjd.



Figur G6. P_{individ} plottat mot volym.

Typbrand 2 - Brand i ett intilliggande utrymme (grupp 1, naturlig variation)

Tabell G3. Korrelationsanalys.

Totala datamängden			
	<i>Medelrisk</i>	<i>P_{individ}</i>	<i>P_{sämst}</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	1.00	1.00	
Psämst	0.83	0.84	1.00
Osäkerhetsfaktor N	0.42	0.44	0.47
% väg in (givet flash over)	0.25	0.26	0.23
Larm	0.05	0.05	0.05
Ingen aktivering	0.04	0.04	0.02
Ej larm	0.04	0.04	0.01
Automatisk detektion	0.02	0.02	0.03
Manuell aktivering	-0.01	-0.01	-0.02

Pindivid (sämst) > 0			
	<i>Medelrisk</i>	<i>P_{individ}</i>	<i>P_{sämst}</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	1.00	1.00	
Psämst	0.78	0.78	1.00
Osäkerhetsfaktor N	0.49	0.49	0.52
% väg in (givet flash over)	0.42	0.43	0.35
Larm	0.13	0.13	0.14
Automatisk detektion	0.05	0.05	0.09
Ingen aktivering	-0.02	-0.02	-0.09
Ej larm	-0.02	-0.01	-0.10
Manuell aktivering	-0.01	-0.01	-0.02

De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.

För ”Typbrand 2 - Brand i ett intilliggande utrymme (grupp 1, naturlig variation)” varieras varken area eller höjd eftersom dessa variabler hör till grupp 2.

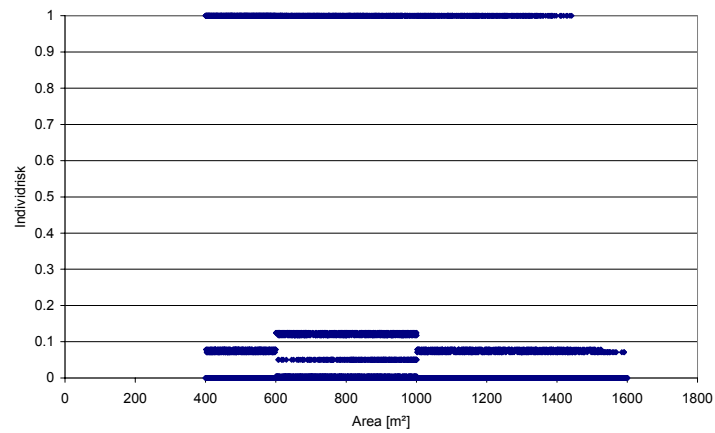
Typbrand 2 - Brand i ett intilliggande utrymme (grupp 2, design variabler)

Tabell G4. Korrelationsanalys.

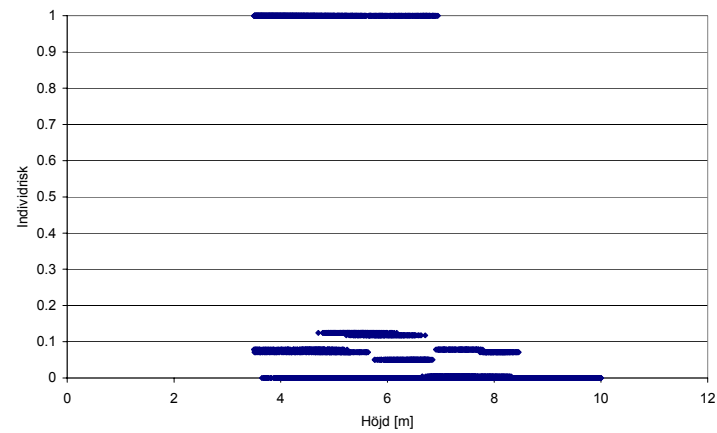
Totala datamängden			
	<i>Medelrisk</i>	<i>P_{individ}</i>	<i>P_{sämst}</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.97	1.00	
Psämst	0.79	0.73	1.00
Volym	-0.53	-0.51	-0.61
h	-0.53	-0.47	-0.61
A	-0.40	-0.43	-0.40

Pindivid (sämst) > 0			
	<i>Medelrisk</i>	<i>P_{individ}</i>	<i>P_{sämst}</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.96	1.00	
Psämst	0.73	0.66	1.00
Volym	-0.76	-0.76	-0.72
h	-0.58	-0.48	-0.63
A	-0.35	-0.44	-0.22

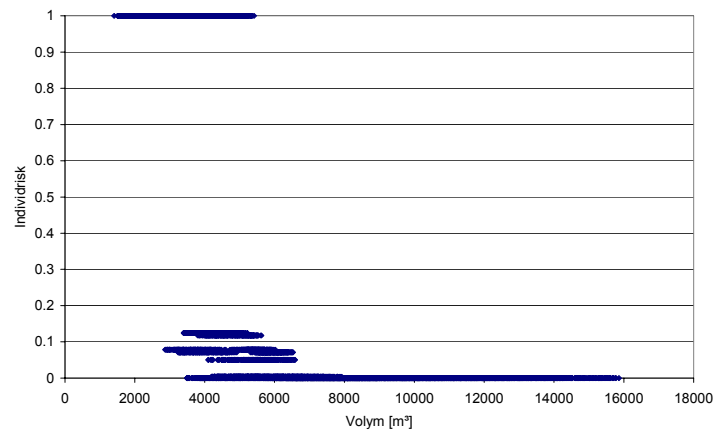
De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.



Figur G7. P_{individ} plottat mot area.



Figur G8. P_{individ} plottat mot höjd.



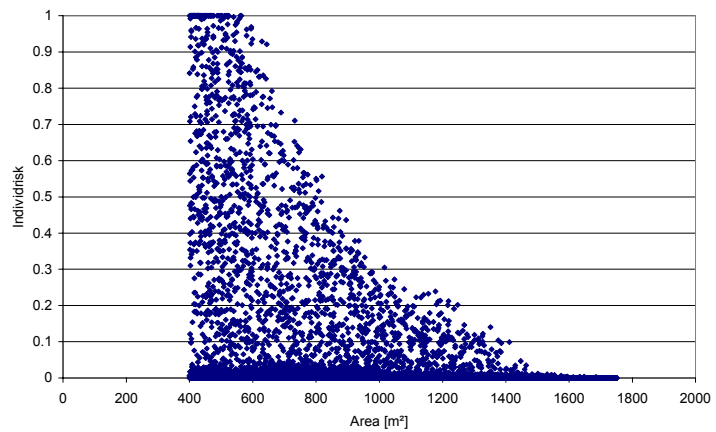
Figur G9. P_{individ} plottat mot volym.

Brand i ett intilliggande utrymme (N konstant)

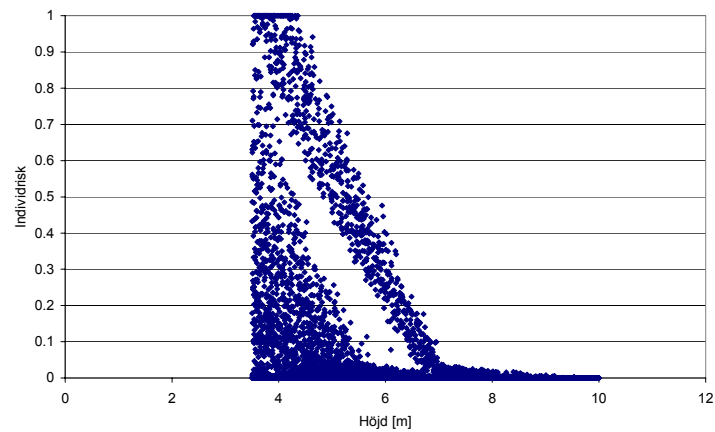
Tabell G5. Korrelationsanalys.

Totala datamängden			
	<i>Medelrisk</i>	<i>P_{individ}</i>	<i>P_{sämst}</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.97	1.00	
Psämst	0.80	0.73	1.00
Volym	-0.52	-0.49	-0.59
h	-0.50	-0.44	-0.56
A	-0.41	-0.43	-0.43
% väg in (givet flash over)			
/	0.04	0.02	0.07
Automatisk detektion	0.03	0.02	0.03
Ingen aktivering	0.02	0.02	0.01
Larm	0.02	0.02	0.02
Ej larm	0.01	0.00	0.01
Manuell aktivering	0.01	0.01	0.01
Pindivid (sämst) > 0			
	<i>Medelrisk</i>	<i>Pindivid</i>	<i>Psämst</i>
Medelrisk	1.00		
Pindivid	0.96	1.00	
Volym	-0.75	-0.76	-0.71
Psämst	0.73	0.66	1.00
h	-0.57	-0.47	-0.61
A	-0.36	-0.45	-0.23
Automatisk detektion	0.04	0.03	0.05
Ej larm	-0.03	-0.04	-0.06
Larm	0.03	0.03	-0.07
% väg in (givet flash over)			
/	0.03	0.00	0.08
Ingen aktivering	-0.02	-0.02	-0.07
Manuell aktivering	0.02	0.02	0.03

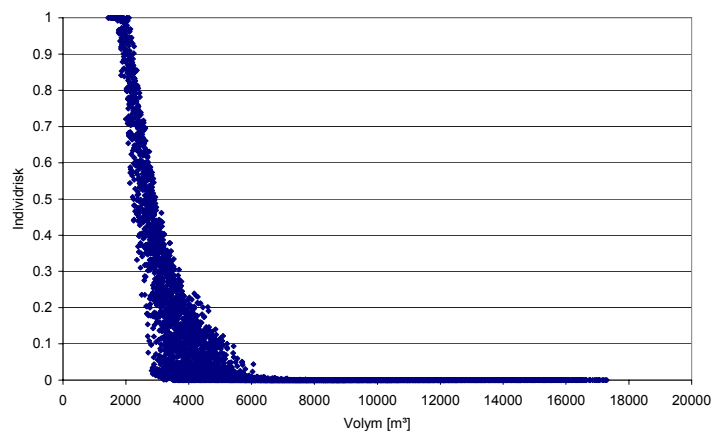
De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.



Figur G10. P_{individ} plottat mot area.



Figur G11. P_{individ} plottat mot höjd.



Figur G12. P_{individ} plottat mot volym.

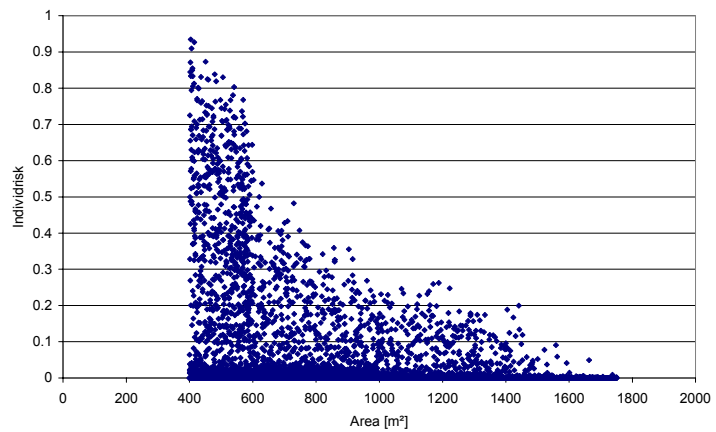
Brand i ett intilliggande utrymme (h begränsad)

Tabell G6. Korrelationsanalys.

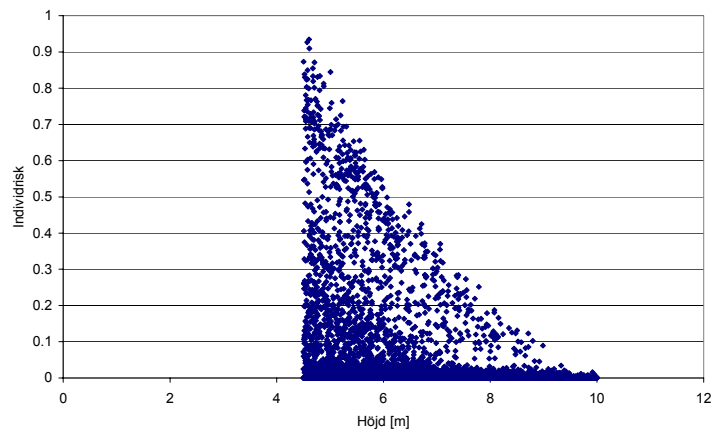
Totala datamängden			
	Medelrisk	$P_{\text{sämst}}$	P_{indivd}
Medelrisk	1.00		
Pindivd	0.92	1.00	
Psämst	0.80	0.74	1.00
Volym	-0.42	-0.44	-0.48
h	-0.40	-0.37	-0.44
A	-0.34	-0.39	-0.38
Osäkerhetsfaktor N	0.33	0.22	0.36
% väg in	0.06	0.03	0.06
Automatisk detektion	0.03	0.03	0.04
Larm / N	0.02	0.02	0.02
Ingen aktivering / N	0.02	0.03	0.01
Ej larm / N	0.00	0.01	-0.01
Manuell aktivering	0.00	0.00	0.00

Pindivd (sämst) > 0			
	Medelrisk	P_{indivd}	$P_{\text{sämst}}$
Medelrisk	1.00		
Pindivd	0.91	1.00	
Psämst	0.74	0.67	1.00
Volym	-0.46	-0.57	-0.43
h	-0.46	-0.41	-0.47
Osäkerhetsfaktor N	0.28	0.09	0.25
A	-0.23	-0.40	-0.15
% väg in	0.06	0.01	0.07
Automatisk detektion	0.05	0.05	0.06
Ej larm / N	-0.04	-0.02	-0.07
Larm / N	0.04	-0.02	0.05
Ingen aktivering / N	-0.03	-0.02	-0.08
Manuell aktivering	-0.01	-0.01	-0.01

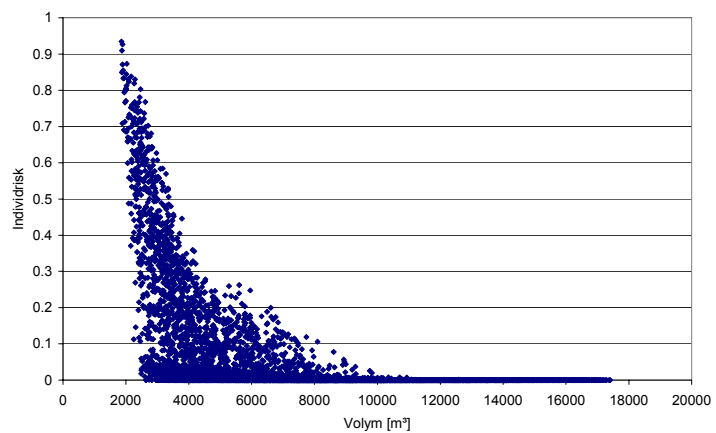
De variabler som anses ha stor påverkan på osäkerheten i riskmåttan har en korrelationskoefficient som är större än 0.1.



Figur G13. $P_{\text{indiv}} \text{ plottat mot area.}$



Figur G14. $P_{\text{indiv}} \text{ plottat mot höjd.}$



Figur G15. $P_{\text{indiv}} \text{ plottat mot volym.}$