

Säkerhet i höga byggnader

Emma Lindsten

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

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5088, Lund 2001

**Säkerhet i höga
byggnader**

Emma Lindsten

Lund 2001

Säkerhet i höga byggnader

Emma Lindsten

Report 5088

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5088--SE

Number of pages: 135

Illustrations: Emma Lindsten

Keywords

High rise building, quantitative risk analysis, risk management, fire safety, fire safety organisation, fire protection systems, sprinkler, fire fighters lift, detection system, pressurisation of shafts, evacuation, F/N curve.

Sökord

Hög byggnad, kvantitativ riskanalys, riskhantering, brandsäkerhet, brandskydd, brandskyddsorganisation, brandskyddssystem, sprinkler, brandhiss, detektionssystem, trycksättning av hisschakt, utrymning, F/N-kurva.

Abstract

This report describes the problems with fire safety in high rise buildings. A quantitative risk analysis has been carried out for a 24 stories high building. The level of risk is presented by F/N curves.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2001.

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

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

Sammanfattning

Arbetet har utförts i samarbete med Bengt Dahlgren AB, Göteborg, och NCC Teknik Bygg, Göteborg. Projektet motsvarar 20 högskolepoäng och är ett examensarbete för civilingenjörsprogrammet i riskhantering, samt en del i kursen problembaserad brandteknisk riskhantering vid brandingenjörsprogrammet.

I dagens moderna samhälle byggs det alltmer på höjden och det uppstår flera frågeställningar angående säkerheten i höga byggnader. Aspekten över säkerheten i höga byggnader är aktuell och ämnet diskuteras flitigt, inte minst efter terroristattacken mot World Trade Center i USA, 11 sep 2001.

Definitionen av en hög byggnad varierar mellan olika länder, men generellt sett är det en byggnad som är högre än dit räddningstjänsten når upp med sin stegutrustning. När höga byggnader betraktas ur ett säkerhetsperspektiv kan flera problem identifieras som är förknippade med höjden. Dessa problem bör utredas när byggnadens brandskydd ska utformas, för att nå en erforderlig säkerhet för personerna i byggnaden. Det är viktigt att beakta säkerheten för både räddningsmanskaper vid en insats och för övriga personer som vistas i byggnaden.

Målet med arbetet är bl a att genomföra en kvantitativ riskanalys över en hög byggnad, som beskriver risknivån för personerna som befinner sig i huset. Det har utförts genom att utarbeta en metod som tar hänsyn till de riskkällor som förknippas med höga byggnader. Studien grundas på förutsättningarna som gäller för Rumlaborg, en hög byggnad som NCC planerar att bygga i Jönköping. Byggnaden är ett flerbostadshus som ska bestå av 27 våningar. Till att börja med identifieras de problem som kan uppstå då brand utbryter i en lägenhet. Problemen som har identifierats är bl a:

- Ändrad utrymningssituation för de boende
- Risk för vertikal brandspridning via fasad och fönster
- Tilltagande skorstenseffekt som sprider brandgaser i byggnaden
- Tillgänglighet och vattenförsörjning för räddningstjänsten

Analysen har utförts med olika kombinationer av skyddssystem i den Rumlaborg för att undersöka hur risken kan påverkas. De skyddssystem som har studerats är:

- Sprinkler
- Brandhiss
- Trycksättning av hisschakt
- Brandvarnare

För att möjliggöra en värdering av risken för den höga byggnaden har en riskanalys genomförts även för en lägre byggnad bestående av åtta våningar. Resultaten ger svar på hur riskbilden ändras mellan olika höga byggnader. Vid en jämförelse mellan byggnaderna visar analysen att risknivån kan reduceras till en låg nivå för den höga byggnaden om den förses med erforderliga skyddssystem (som t ex sprinkler, brandhiss och brandvarnare).

Höga byggnader utmärker sig ofta på grund av deras höjd. Det kan innebära att risken för ett attentat ökar. Den kvantitativa riskanalysen som har utförts tar hänsyn till sabotage i form av anlagd brand, men den behandlar inte katastrofscenarier som t ex en bombattack. Det är dock

viktigt att vara förberedd på en totalutrymning av en hög byggnad då det i annat fall kan orsaka stora problem (t ex på grund av att det endast finns *ett* trapphus för utrymning).

Den svenska lagstiftningen som styr kraven över brandskyddet i byggnader är inte anpassade för höga byggnader. Kravet på höga byggnader är att uppfylla tillräcklig nivå på säkerheten. Det finns inga riktlinjer eller rekommendationer för hur det kan uppfyllas och säkerhetsnivån som ska uppnås definieras inte. I arbetet ingår därför en internationell studie över bestämmelserna i länder som har stor erfarenhet av och kunskap om brandskydd i höga byggnader. Undersökningen har baserats på intervjuer med representanter från England, Australien, USA och Hong Kong. Sammanfattningsvis kräver länderna sprinkler, brandhiss, utrymningslarm, två utrymningsvägar och möjlighet för räddningstjänsten att kommunicera med utrymmande personer, i höga byggnader.

Summary

This report has been accomplished in cooperation with Bengt Dahlgren AB, Gothenburg, and NCC Teknik Bygg, Gothenburg. The project corresponds to 20 university points and constitutes a degree thesis in risk management, programme for Master of Engineering and also in fire safety, programme for Engineering.

Today in our modern society we build more and more high rise buildings and several questions arise concerning the safety of people in high rise buildings. The aspects regarding safety in high rise buildings are topical and the subject field is widely discussed, especially after the terrorist attack against World Trade Center in USA, the 11th of September, 2001.

The definition of a high rise building varies between different countries, but generally the term high rise applies to those buildings with floors above the reach of fire service equipment. When high rise buildings are considered, out of a safety perspective, it is possible to identify a number of problems that are associated with the height. To receive a necessary level of safety for the people in high rise buildings these problems should be investigated, when the fire protection systems are designed. It is important that the safety of the fire service personnel as well as the safety of the others who stay in the building is taken into consideration.

The objective of the project is to carry out a quantitative risk analysis for a high rise building that describes the risk level for the persons who stay in the building. This has been achieved by preparing a method that takes risk sources connected with high rise buildings into consideration. The study is based on the conditions applied to Rumlaborg, which is a high rise building that NCC Teknik Bygg is planning to construct in Jönköping, Sweden. This building is going to be a multi residential building consisting of 27 floors. The risk analysis begins with an identification of the problems that can arise when a fire occurs in an apartment. The main problems are:

- Changed evacuation situation for the residents
- Risk for vertical fire spread by the facade and windows
- Significant stack effect potential is present that can spread smoke through the building
- Changed ability for the rescue personnel to reach the fire
- Changed situation concerning the water supply for the fire service personnel during a fire attack

The analysis includes a study over different combination of fire protection systems in Rumlaborg. This is carried out to examine how the risk level can be influenced by different fire protection systems. The systems included are:

- Sprinkler
- Fire fighters lift
- Pressurisation of shafts
- Fire detector

To be able to make a valuation of the risk in the high rise building an additional risk analysis has been carried out for a building that consists of eight floors. The results of the two studies show how the risk level changes between different heights of buildings. In a comparison between the buildings the analysis shows that the risk level in the high rise building can be

reduced to a low level if it is provided with several fire protection systems (for example sprinkler, fire fighters lift and fire detector).

High rise buildings distinguish themselves because of their heights. This can mean that the risk for an attack or sabotage increases (such as arson, bomb scare and bomb outrage). The quantitative risk analyses which have been carried out in this project take sabotage in form of arson into consideration. But the project does not include catastrophe scenarios such as bomb outrage. It is anyhow very important to be prepared for a total evacuation of all the people in a high rise building. Other wise it can occur problems with a fatal outcome (for example one problem is caused by the lack of escape routes).

The Swedish legislation that controls the requirements for the fire protection in buildings is not suitable for high rise buildings. The requirement for a high rise building is to accomplish necessary level of safety for the people in the building. There are neither any guidelines nor any recommendations on how to fulfil this requirement and the level of safety is not specified. Therefore this report includes an international study of the regulation in some countries that have great experience and knowledge of fire protection systems in high rise buildings. The investigation is based on interviews with representatives from England, Australia, USA and Hong Kong. To sum up the countries require sprinkler, fire fighters lift, fire alarm system, two escape routes and possibility for the fire service personnel to communicate with evacuating people, in high rise buildings.

Förord

Arbetet som resulterar i den här rapporten är ett examensarbete för civilingenjörsprogrammet i riskhantering, samt en del i kursen problembaserad brandteknisk riskhantering vid brandingenjörsprogrammet. Arbetet motsvarar 20 poäng.

Under arbetes gång har jag sökt upp både nationella och internationella kontakter. Många människor har blivit involverade och utan dessa personer hade arbetet inte varit genomförbart. De har bistått med hjälp genom att ha bidragit med sina kunskaper, givit synpunkter och genom att ha visat intresse och engagemang för arbetet. *Därmed vill jag visa min uppskattning till alla de personer som har varit inblandade.*

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till min handledare Pär Hansson på Bengt Dahlgren AB i Göteborg, som har varit med under hela projektets gång. Jag vill även tacka min handledare Håkan Frantzich på Brandteknik i Lund, samt Thomas Järphag på NCC Teknik Bygg i Göteborg som har möjliggjort studien över den höga byggnaden Rumlaborg (som NCC planerar att bygga i Jönköping).

Vidare vill jag tacka Ulf Erlandsson på Räddningsverket i Karlstad, Mattias Delin på Brandskyddslaget i Stockholm, Hans Nyman på Brandskyddslaget i Stockholm, Linus Eriksson på Malmö Brandkår, Per-Åke Olsson på Arup i Hong Kong och Samuel Nyström på Räddningstjänsten i Jönköping, då alla dessa personer har hjälpt mig att föra arbetet vidare genom kunskap om de problem som har uppstått under projektets gång.

Intervjuerna som har utförts, om internationella bestämmelser angående brandskyddet i höga byggnader, har varit värdefulla för arbetet. Tack till de personer som jag har intervjuat: Oscar Löfgren-Ferraz på Arup i England, Magdalena Angerd på Holmes Fire i Australien, Charlie Wong på Arup i Hong Kong och Ron Côté på NFPA i USA.

Ett stort tack till övriga personer som har bidragit med sin experthjälp: Sören Juhlin på DNV i Stockholm, Per Liljeqvist på Räddningstjänsten i Gislaveds kommun, Jörgen Nilsson på Räddningsverket i Karlstad, Robert Murgallis på National Fire Academy i USA och Robert Neale på United States Fire Administration i USA.

Till sist vill jag tacka de som inte nämnts vid namn, men som ändå varit med på ett hörn i arbetet!

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING

SUMMARY

FÖRORD

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE OCH MÅL.....	1
1.3	METOD.....	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	2
1.5	RAPPORTENS UPPLÄGG.....	2
2	FLER OCH FLER HÖGA BYGGNADER	5
2.1	DEFINITION.....	5
2.2	SÄKER UTFORMNING AV BYGGNADER.....	5
2.3	PROBLEM I HÖGA BYGGNADER.....	5
3	STUDIE AV DAGSLÄGET	7
3.1	KRAV OCH REGLER – HÖGA BYGGNADER.....	7
3.1.1	<i>Nationella regler</i>	7
3.1.2	<i>Internationella regler</i>	7
3.2	EXEMPLIFIERANDE OBJEKT.....	9
3.2.1	<i>Turning Torso</i>	10
3.2.2	<i>Kista Science Tower</i>	10
4	RISKHANTERINGSPROCESSEN	11
4.1	IDENTIFIERING OCH INVENTERING AV RISKER.....	11
4.2	ANALYS AV RISKER.....	12
4.2.1	<i>What if?-analys</i>	13
4.2.2	<i>Händelseträdsanalys</i>	13
4.2.3	<i>Felträdsanalys</i>	13
4.3	RISKNIVÅ.....	14
4.3.1	<i>Medelrisk och F/N-diagram</i>	14
4.4	RISKVÄRDERING.....	15
4.4.1	<i>Kriterier för värdering</i>	15
4.5	RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER.....	15
5	RISKANALYS AV HÖG BYGGNAD - 24 VÅNINGAR	17
5.1	OBJEKTSBESKRIVNING - RUMLABORG.....	17
5.2	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	18
5.3	IDENTIFIERING AV RISKFAKTORER.....	18
5.3.1	<i>Byggnadstekniska riskkällor</i>	18
5.3.2	<i>Mänskliga riskkällor</i>	22
5.3.3	<i>Organisatoriska riskkällor</i>	22
5.4	WHAT IF?-ANALYS.....	23
5.5	HÄNDELSETRÄDSANALYS.....	31
5.5.1	<i>Riskanalysmetod</i>	31
5.5.2	<i>Ingående händelser i händelseträdet</i>	34
5.5.3	<i>Bestämning av sannolikheter</i>	41
5.5.4	<i>Bestämning av konsekvenser</i>	53
5.5.5	<i>Bestämning av risk</i>	57
5.5.6	<i>Osäkerheter</i>	58
5.6	RISKNIVÅ - MEDELRIK OCH F/N-DIAGRAM.....	59

5.6.1	<i>Utgångsläget - skyddssystemen finns</i>	59
5.6.2	<i>Utan sprinkler</i>	61
5.6.3	<i>Utan brandhiss</i>	63
5.6.4	<i>Utan sprinkler och brandhiss</i>	64
5.6.5	<i>Utan trycksättning</i>	66
5.6.6	<i>Känslighetsanalys</i>	67
5.7	RISKVÄRDERING	71
5.7.1	<i>Kriterier för värdering</i>	71
5.7.2	<i>Värdering av risknivå</i>	72
5.8	RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	73
5.8.1	<i>Byggnadstekniska åtgärder</i>	73
5.8.2	<i>Åtgärder för den mänskliga faktorn</i>	74
5.8.3	<i>Organisatoriska åtgärder</i>	74
6	RISKANALYS AV LÅG BYGGNAD – 8 VÅNINGAR	77
6.1	OBJEKTSBESKRIVNING	77
6.2	FÖRUTSÄTTNINGAR	77
6.3	HÄNDELSETRÄDSANALYS	78
6.3.1	<i>Risکانالysmetod</i>	78
6.3.2	<i>Ingående händelser i händelseträdet</i>	78
6.3.3	<i>Bestämning av sannolikheter</i>	79
6.3.4	<i>Bestämning av konsekvenser</i>	85
6.3.5	<i>Bestämning av risk</i>	87
6.3.6	<i>Osäkerheter</i>	87
6.4	RISKNIVÅ – MEDELRIK OCH F/N-DIAGRAM	87
6.4.1	<i>Utgångsläget</i>	87
6.4.2	<i>Känslighetsanalys</i>	89
6.5	RISKVÄRDERING	91
6.5.1	<i>Värdering av risknivå</i>	91
7	RISJKJÄMFÖRELSE - LÅG OCH HÖG BYGGNAD	93
8	MÄNNISKA, TEKNIK OCH ORGANISATION	97
8.1	MTO I HÖGA BYGGNADER	97
8.2	ORGANISATION MED SÄKERHETSPERSONAL	97
8.3	ORGANISATIONEN I NEW YORK	97
8.4	FIRE SAFETY DIRECTOR (FSD)	98
8.5	FIRE WARDEN (FW)	99
8.6	PLAN FÖR HANTERING AV NÖDSITUATIONER	99
8.7	BRANDÖVNING	99
8.8	SAMVERKAN - MTO	100
9	DISKUSSION OCH SLUTSATS	101
APPENDIX:		
A	INTERVJU – INTERNATIONELLA BYGGREGLER	107
B	FELTRÄD	109
C	SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR – HÖG BYGGNAD	113
D	BERÄKNING AV RISK – HÖG BYGGNAD	121
E	FAST- SIMULERING	133

1 INLEDNING

Rapporten om säkerhet i höga byggnader utgör ett examensarbete på civilingenjörsprogrammet i riskhantering, vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts i nära samarbete med Bengt Dahlgren AB, Göteborg, och i samverkan med NCC Teknik Bygg, Göteborg. Rapporten riktar sig främst till personer som har grundläggande kunskap inom området brandsäkerhet. Målgruppen antas därmed vara bekant med vissa benämningar och uttryck.

1.1 Bakgrund

Säkerhet i höga byggnader är ett ämne som är aktuellt, då det allt mer byggs på höjden. Terrorattacken mot World Trade Center den 11 september 2001 bidrar till att öka uppmärksamheten ytterligare för höga byggnader och det uppstår många frågeställningar runt säkerheten.

Byggreglerna som tillämpas i Sverige, Boverkets Byggregler (BBR), ställer krav och ger rekommendationer på byggnaders brandskydd [2]. En byggnad ska uppfylla tillräcklig säkerhet för personerna i byggnaden med avseende på utrymning och det kan innebära att brandskyddet i höga byggnader ser annorlunda ut jämfört med i lägre byggnader. För byggnader som överstiger åtta våningar ställs inga specifika krav utöver de vanliga, förutom för trapphusen. Vilken nivå på säkerhet som ska uppnås står inte klart och hur nivån ska uppnås preciseras heller inte. Andra länder som har ett stort antal höga byggnader har större rutin jämfört med Sverige, gällande säkerhet i samband med höga byggnader. Genom att studera hur de i dessa länder konstruerar sina hus och hur de löser problematiken som involverar höga byggnader erhålls mer kunskap som kan utnyttjas i vårt land.

Frågeställningar som uppstår runt höga byggnader är bl a:

- ▶ Ökar antalet skadade då brand utbryter i en hög byggnad jämfört med i en låg byggnad?
- ▶ Hur ser riskbilden ut för människorna som befinner sig i en hög byggnad? Ökar risknivån?
- ▶ Hur förändras säkerheten för räddningstjänsten vid en insats i en hög byggnad?
- ▶ Vad görs i så fall idag åt den ökande risken idag vid nybyggnation och renovering av höga hus? Använder man sig av tekniska lösningar för brandskyddet? Finns riskmedvetenheten kvar när byggnaden står färdig och har tagits i bruk?
- ▶ Bör det krävas högre säkerhet? Bör riskreducerande åtgärder införas, i form av ökade byggnadstekniska och organisatoriska krav?

För att ge svar på dessa frågor är det lämpligt att undersöka säkerheten för höga byggnader på ett kvantitativt sätt, utifrån ett riskperspektiv.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att identifiera de riskkällor som kan förknippas med höjden av byggnader. Utifrån de faktorerna kan en studie utföras för att förstå och beskriva hur riskbilden ändras vid höga byggnader. Arbetet syftar även till att klargöra hur man kan lösa

problemen i höga byggnader och till att redogöra för hur internationella regler preciseras med avseende på brandskyddskraven.

Målet är att utarbeta ett tillvägagångssätt för att beskriva risken kvantitativt för en hög byggnad och med utgångspunkt från det ge en bedömning av risknivån för personerna som vistas i huset. Tanken är vidare att göra en riskjämförelse mellan en låg och en hög byggnad för att se hur riskbilden skiljer sig. Målet är även att utforska hur riskbilden kan förändras med olika skyddssystem i en hög byggnad. Målsättningen med rapporten är inte att täcka in hela området med höga byggnader, utan tanken är att starta en diskussion angående riskkällorna och risknivån, samt att initiera en fortsatt utredning för de delar som inte inryms i arbetet.

1.3 Metod

Metoden som utnyttjas består av flera moment. En litteraturstudie utförs som resulterar i kunskap om bl a de riskkällor som en hög byggnad tillför. Riskkällorna beskrivs genom de faktorer som påverkar risken och de analyseras och värderas med hjälp av flera metoder som lärts ut under undervisningen på högskolan. Studien omfattar en hög byggnad och en låg byggnad för att sedan möjliggöra en jämförelse mellan dessa med avseende på risknivån.

För att studera de internationella byggreglerna om höga byggnader genomförs en undersökning i form av skriftliga intervjuer. De länder som väljs ut anses ha god erfarenhet inom området och representanter från dessa nationer besvarar frågorna.

1.4 Avgränsningar

För att åstadkomma ett lagom omfångsrikt examensarbete krävs vissa begränsningar.

- ▶ Riskanalysens centrala del avser personsäkerheten för människorna i byggnaden och för räddningstjänstens personal. Aspekterna kring egendomssäkerheten berörs dock inte.
- ▶ Riskbilden studeras för *två* olika byggnader, ett 24-våningshus och ett 8-våningshus. Någon utredning över andra våningsantal görs inte.
- ▶ Analysen av den höga byggnaden genomförs utifrån ett studieobjekt, ett flerbostadshus, som man för nuvarande planerar att bygga. De förutsättningar som gäller för bostadskomplexet ligger till grund för analysen. En förutsättning är att byggnaden är utrustat med *ett* trapphus. Därmed ingår inte någon analys av riskbilden där det finns flera trapphus. I nya BBR, som förväntas komma ut under 2002, kommer eventuellt kraven angående trapphus förändras. Förslaget enligt remissen är en gräns på maximalt 16 våningar för *ett* trapphus för bostäder.
- ▶ Utredningen avser bostäder och täcker därmed inte in andra typer av verksamheter, t ex hotell, kontor eller sjukhus, eftersom villkoren då blir annorlunda.

1.5 Rapportens upplägg

Till att börja med ges en definition av en hög byggnad och därefter sker en redogörelse för de nationella och internationella regler som styr brandskyddet i höga byggnader. Därefter definieras de problemställningar som berör höga byggnader. Riskkällorna identifieras och de

ligger sedan till grund för en riskanalys. Tillvägagångssättet för riskanalysen presenteras i form av en riskhanteringsprocess som innehåller flera moment. Riskhanteringsprocessen beskrivs i ett separat kapitel och den tillämpas sedan när riskanalysen, över en 24 våningar hög byggnad, utförs. I riskanalysen ingår en studie över hur olika skyddssystem påverkar riskbilden i byggnaden.

Resultatet av riskanalysen beskriver risken i den höga byggnaden. Därefter utförs även en riskanalys på ett lägre hus, 8 våningar. Risken bestäms för tre låga hus vilket medför sammanlagt 24 våningar. Det är då möjligt att genomföra en jämförelse av riskbilden mellan de olika höga husen och en riskvärdering utförs med hjälp av resultaten.

I rapporten ges även förslag på åtgärder som har en riskreducerande effekt. Rapporten analyserar inte alla problem som uppstår i samband med höga byggnader utan förslag lämnas på vilka delar som behöver studeras vidare.

2 FLER OCH FLER HÖGA BYGGNADER

För att kunna studera riskbilden i en *hög* byggnad erfordras till att börja med en definition av vilka byggnader som faller inom kategorin. Det behövs även en introduktion som klargör vad som ska uppnås för att en byggnads utformning ska betraktas som säker enligt lagen. Därefter beskrivs de största problemen som generellt är förenade med höga byggnader och en framställning görs över de problem som har visat sig uppstå i höga byggnader. Den grundas på erfarenhet som har förvärvats tidigare, främst från länder där höga byggnader är vanligt förekommande.

2.1 Definition

Det finns ingen faktisk definitionen på en hög byggnad i Sverige. Enligt den europeiska standarden för brandhissar definieras en hög byggnad som en byggnad vilken har fler våningar än dit räddningstjänsten når med sin utrustning [17]. I Sverige innebär det en byggnad som överstiger 8 våningar. Generellt sett har varje land en egen definition av en hög byggnad, och det skiftar hur höjden anges. Antingen ges gränsen för höjden i meter eller i antal våningar (eller båda dessa mått). I de flesta fall definieras kriteriet för en hög byggnad som höjden i meter och varierar mellan 23 till 30 meter (se kap 3.1.2 för exempel från fyra olika länder som har stor erfarenhet inom området med höga byggnader).

2.2 Säker utformning av byggnader

Syfte och mål för brandskyddet i en byggnad finns i ”Förordningen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk” [30]. Där beskrivs vilka fem punkter som en byggnads utformning ska uppfylla, oberoende av vilken höjd den har. Utgångspunkterna är:

1. Byggnadsverkets bärförmåga vid brand antas kunna bestå under en bestämd tid.
2. Utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas.
3. Spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas.
4. Personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand ska kunna lämna det eller räddas på annat sätt.
5. Räddningsmanskapets säkerhet vid brand ska beaktas.

Målsättningen med brandskyddet är alltså att uppfylla dessa fem punkter. Den sista punkten är en viktig del som inte alltid framhävs när brandskyddet projekteras i en byggnad, men den är en central del att beakta när det gäller höga byggnader eftersom förhållandena ändras för räddningsmanskapet (t ex invändig brandbekämpning, lång inträngningsväg och sämre möjlighet att använda stegutrustning).

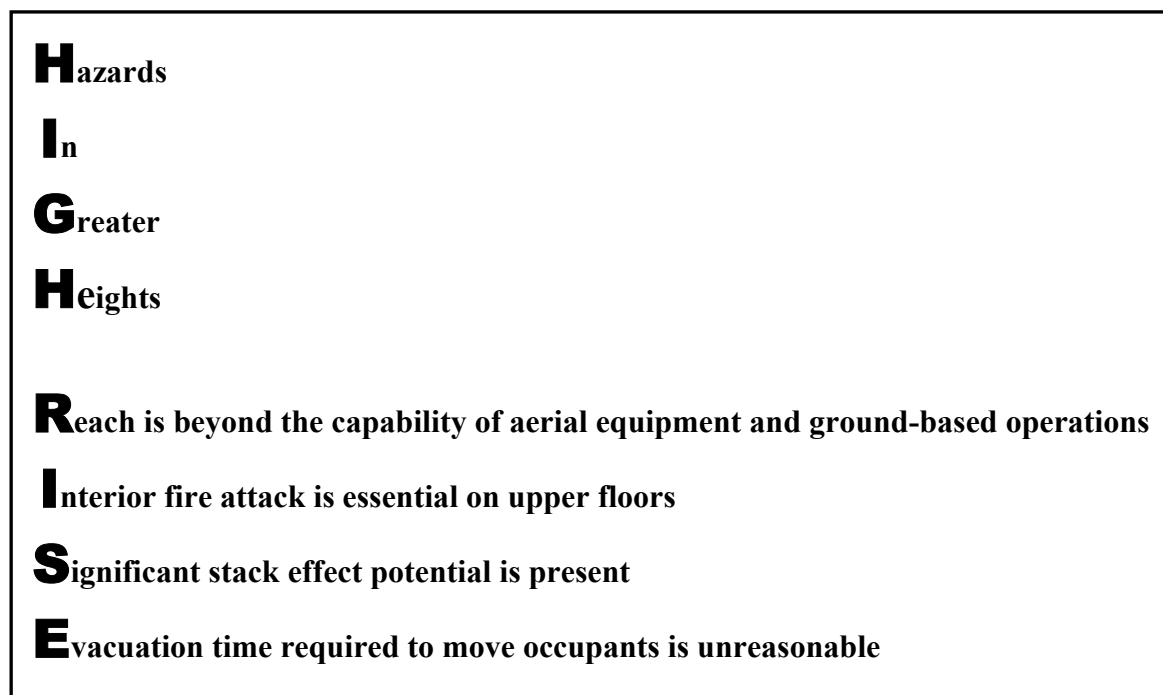
2.3 Problem i höga byggnader

Villkoren ändras för personerna i en hög byggnad och för räddningsmanskapet som ska göra en insats i en hög byggnad. Det uppstår vissa problem som man i andra fall inte behöver ta hänsyn till. Genom litteraturstudier (av bl a räddningsinsatser) och kontakt med personer som arbetar med säkerhet i höga byggnader, har kunskap uppnåtts om de viktigaste problemen och

riskerna som kan förekomma. Dessa risker undersöks närmare i analysen (se kap 5) men de presenteras nedan i stora drag för att ge en översiktlig bild av vilka förutsättningar som måste beaktas i höga byggnader:

- Ändrad utrymningssituation
- Risk för vertikal brandspridning via fasad och fönster
- Skorstenseffekten tilltar (när det är kallare utomhus än inomhus suges luft in i en byggnad på låg nivå och stiger för att tryckas ut på högre nivå) som kan öka spridningen av brandgaser
- Tillgängligheten för räddningstjänsten förändras
- Vattenförsörjning för räddningstjänsten och för ett eventuellt sprinklersystem ändras
- Ändrade väderförhållanden på hög höjd
- Risk för nedfallande glas och delar av fasad
- Kommunikationsmöjligheterna förändras
- Potential till sabotage

Räddningstjänsten påverkas av alla dessa faktorer, men vissa kan dock betonas. Figur 2.1 belyser de största problemen som uppkommer för räddningspersonalen vid en insats i en hög byggnad. Det är viktigt att personalen är uppmärksam på de svårigheterna.



Figur 2-1 Problem som uppstår i en hög byggnad, som räddningstjänsten måste beakta vid en insats [37].

3 STUDIE AV DAGSLÄGET

3.1 Krav och regler – höga byggnader

Kraven som ställs på höga byggnader i dagsläget har undersökts, både nationellt och internationellt. I många andra länder finns stor erfarenhet och kunskap inom området med höga byggnader. Studien av de internationella reglerna har genomförts med hjälp av skriftliga intervjuer som representanter från flera länder har deltagit i. Frågeformuläret presenteras i appendix A.

3.1.1 Nationella regler

Lagstiftningen som styr kraven för brandskyddet i byggnader, framställs i tillämpad form i Boverkets Byggregler, BBR [2]. Tidigare utgjordes kraven av preskriptiva regler, där det angavs i detalj hur varje krav skulle uppfyllas (detaljstyrning). Reglerna som nu tillämpas är funktionsbaserade, vilket innebär att bestämmelsen talar om vilken funktion som ska uppnås men inte hur eller på vilket sätt det måste ske. För vissa funktioner finns rekommendationer för hur de kan uppfyllas.

Utöver de krav som ges för trapphus, ställs inga ytterligare specifika krav på höga byggnader jämfört med lägre byggnader. Om trapphuset utgör den enda utrymningsvägen ska trapphuset utföras som Tr1 (högre krav för t ex ytskikt och skydd mot brand- och brandgasspridning) i en byggnad som överstiger åtta våningar. Det som annars gäller (för alla byggnader) är att en tillräcklig säkerhetsnivå ska uppfyllas när det gäller utrymning och det kan påverka brandskyddet i höga byggnader. Det finns inga rekommendationer för hur brandskyddet ska lösas eller vilken säkerhetsnivå som ska uppnås. På grund av detta anses det vara väldigt intressant och lärorikt att studera internationella regler.

3.1.2 Internationella regler

En blick över gränserna möjliggör en studie av internationella bestämmelser. I många länder har traditionen att bygga på höjden funnits länge och i de större städerna tillkommer allt fler och högre byggnader. I dessa länder finns kunskap om hur konstruktion, skyddssystem och organisation utarbetas och hur de kan samverka för att ge en tillräcklig säkerhetsnivå för personerna i höga byggnader. Kunskapen har överförts till regler för brandskyddet i höga byggnader. Kunskapen ligger även till grund för den praxis som utnyttjas och är allmänt vedertagen. Internationella regler har studerats genom intervjuer med representanter från fyra länder. De länder som företräds är USA, Australien, England och Hong Kong. För varje land ges nedan ett sammandrag över kraven som gäller för höga byggnader, se även appendix A för intervjumaterialet. Det bör understrykas att sammandraget över bestämmelserna inte utgör en formell tolkning av föreskrifterna, utan det är endast en personlig uppfattning från representanten. Resultatet av intervjuerna visar att kraven överrensstämmer ganska väl mellan länderna.

USA

Lagstiftningen i USA är inte enhetlig, utan varierar mellan de olika staterna. De regler som redovisas nedan gäller för NFPA 101-200 "Life Safety Code", och Ron Coté, som har intervjuats är huvudansvarig för dessa på NFPA [62].

- *Definitionen* av ett höghus är en byggnad som överstiger 23 meter. Höjden mäts från lägsta nivån där räddningstjänstens fordon har tillgänglighet, upp till den översta våningen där folk vistas.
- *Sprinkler* krävs för alla höga byggnader, dock tillåts tekniska byten (d v s minskning av andra krav på byggnadens brandsäkerhet).
- Minst *två utrymningsvägar* erfordras från varje våning, vilket då betyder dubbla trapphus.
- Minst en *brandhiss* fordras i en hög byggnad. (Normen för brandhissar i USA motsvarar inte den europeiska standarden [17].)
- Det är nödvändigt att kunna *ge meddelande via högtalare* i höga byggnader om så behövs.
- *Utrymningsövningar* erfordras för de flesta verksamheter.
- *Kommunikationsmöjlighet* i form av telefonjack som används av räddningstjänsten måste finnas i hissar och trapphus.
- I de byggnader där personer sover krävs det ett *detektionssystem*.

Australien

Den lag som ligger till grund för intervjun är, ”Building Code of Australia 1996”, BCA96. Representanten som har intervjuats är Magdalena Angerd, brandingenjör i Australien [61].

- Ett höghus *definieras* som en byggnad där planen ovan mark överstiger 25 meter.
- *Sprinkler* krävs för alla höga byggnader. Dubbla pumpar erfordras.
- *Två trycksatta trapphus* är ett måste för alla höga byggnader. Trycksättning minskar risken för brandgasspridning.
- En *brandhiss* fordras i en hög byggnad. (Normen för brandhissar motsvarar inte den europeiska standarden [17].)
- I bostäder krävs *brandvarnare* och övriga höga byggnader måste ha ett *EWIS-system* (”Emergency Warning and Intercommunication System”≈ brandlarm och kommunikationssystem).
- I höga byggnader tillämpas *sektionerad utrymning*, d v s få våningar utryms åt gången.

England

Lagstiftningen i England uppfylls genom att tillämpa de rekommendationer och råd som finns i ”Approved Document B” [51]. ”The British Standard”, BS, är ett stöd för hur rekommendationerna uppfylls och hur alternativa lösningar utförs [8]. Avsteg från bestämmelserna ska godkännas av myndigheterna. Lokala avvikelser finns och de givna reglerna nedan gäller för London. Representanten som har deltagit i intervjun är Oscar Löfgren-Ferraz, brandingenjör i England [70].

- ✦ Någon egentlig *definition* på ett höghus finns inte. De finns olika krav för upp till 5, 18, 30 meter och för över 30 meter (25 meter om arean överstiger 930 m²).
- ✦ Byggnader över 30 meter ska *sprinklas*, med undantag för bostäder och parkeringshus (för lätta fordon). Vissa tekniska byten är möjliga att genomföra om byggnaden sprinklas.
- ✦ De byggnader som överstiger 11 meter ska i de flesta fall ha *två utrymningsvägar*. (Endast ett trapphus kan accepteras i bostäder till följd av kraftig brandcellsindelning, men begränsningarna för det beror av gångavstånd och tillgängligheten för räddningstjänsten.)
- ✦ En *brandhiss* krävs då byggnaden är högre än 18 meter. (Normen för brandhissar ges i BS 5588 Part 5:1991 [8])
- ✦ I generella drag ska alla höga byggnader ha *brandlarm*, men det beror på verksamheten.
- ✦ *Kommunikationsmöjligheter* med hjälp av telefoner erfordras för räddningstjänsten.

Hong Kong

Reglerna i Hong Kong utgörs av "Building Departments Code of Practice" och "Fire Safety Department Code of Practice". De sammanfattande reglerna baseras på en intervju med Charlie Wong, brandingenjör i Hong Kong, men svaren var inte helt uttömmande [72]. Därför tillkommer viss utfyllnad efter kontakt med ytterligare en person, Per-Åke Olsson, även han brandingenjör i Hong Kong [71].

- ✦ *Definitionen* av ett höghus är en byggnad som överstiger 30 meter.
- ✦ I allmänhet ska höga byggnader *sprinklas*, men det beror delvis på verksamhetens karaktär.
- ✦ Byggnader som är över 6 våningar eller 17 meter höga, ska ha *två utrymningsvägar*, d v s två trapphus i höga byggnader. Trapporna ska vara *trycksatta och brytas av* (sektioneras) då de överstiger 20 våningar för att undvika vertikal brandgasspridning.
- ✦ En brandhiss krävs då byggnaden har fler än två våningar eller om den är över 30 meter.
- ✦ I generella drag ska alla höga byggnader ha *brandlarm*, men det beror på verksamheten.
- ✦ Det ska finnas möjlighet att ge *meddelande via högtalare*, ett så kallat PA-system, till utrymnande personer i höga byggnader.

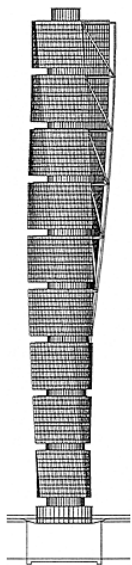
3.2 Exemplifierande objekt

De svenska reglerna preciserar inte hur säkerhetsnivån ska uppnås i höga byggnader. Varje enskild byggnad designas och projekteras därmed utifrån dess förutsättningar för att nå tillräcklig säkerhet. Det betyder att olika lösningar tillämpas för byggnader och för att ge exempel på hur brandskyddet kan lösas presenteras en kortfattad redogörelse för två byggnader. De byggnadsverk som undersöks är Turning Torso och Kista Science Tower och de är under uppbyggnad i Malmö respektive Stockholm. Studien av byggnaderna är översiktlig och inte helt uttömmande på detaljer (då dessa inte kommit till kännedom), men

det är möjligt att urskilja flera likheter, över hur brandskyddet konstrueras, mellan byggnaderna.

3.2.1 Turning Torso

Beskrivningen av byggnaden görs efter kontakt med personal som arbetar med projektet Turning Torso [68] och dessutom hämtas fakta från Internet och från litteratur [5], [60]. Turning Torso byggs (påbörjades i början av 2001) i Malmö och ska bli ett bostadshus på 186 meter med 55 våningar, som inrymmer upp till 600 personer. Byggnaden kräver enorm stabilitet och det uppnås bl a genom ett stålbärverk för konstruktionen och en betonggrund som sträcker sig ca 15 meter under markytan.



Konstruktionen består av nio kuber (5 våningar per kub) ovanpå varandra och de utförs med en betongkärna i mitten, se figur 3.1. I kärnan finns *ett* trapphus som utgör den enda utrymningsvägen. Två kuber bildar en brandzon och där ska de aktiva systemen (t ex sprinkler och larm) fungera oberoende av funktionen hos de övriga zonerna. Mellan varje kub ska det finnas ett plan som är brandtekniskt förstärkt och bildar en brandvägg mellan kuberna.

Utrymningsstrategin som tillämpas är sektionerad utrymning, med fyra våningar i taget. Personer evakueras till en underliggande zon, d v s till säker plats i byggnaden, och det kan som mest bli 12 våningar nedanför. Handikappade personer ska utrymma till trapphuset och får assistans därifrån. Komplexet helsprinklas och utrustas med två tryckhöjande pumpar, stigarledningar, brandhiss, brandgasventilation, dörrstängare, brandlarmssystem, brandvarnare, nödströmsförsörjning och nödbelysning. Varje våning och lägenhet ska utgöra en egen brandcell. (I de följande kapitlen görs en redogörelse för de nämnda skyddssystemen.)

Figur 3-1 Turning Torso [21].

3.2.2 Kista Science Tower

Redogörelsen av byggnadens brandskydd görs utifrån artiklar [6], [12] och efter kontakt med personer som arbetar med projektet Kista Science Tower [63], [68]. Byggnaden ska bli ett trekantigt kontorshus med glasfasader, se figur 3.2. Kista Science Tower är under uppbyggnad i Stockholm och ska nå 128 meter i höjd, vilket innebär 31 våningar, och rymma ca 1600 personer. Byggnaden sektioneras efter vart fjärde plan, och på det viset bildas storbrandceller (å fyra våningar) som är brandtekniskt förstärkta. Utrymningen sker sektionerat, där en storbrandcell evakueras åt gången, till följd av att ett utrymningslarm ljuder i form av ett inspelat meddelande.

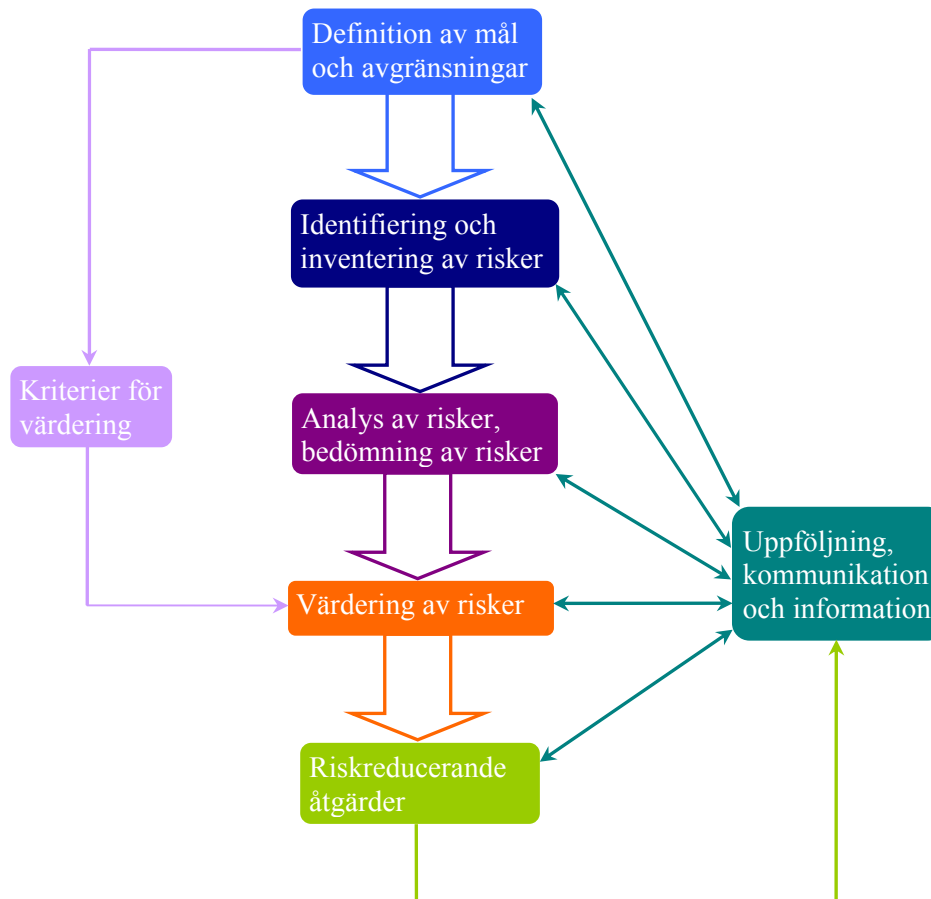


Även i det här fallet utförs huset med endast *ett* trapphus som är trycksatt för att förhindra brandgasspridning. Komplexet förses med flera skyddssystem; sprinkler, detektionssystem, automatiskt brandlarm, brandhiss, nödbelysning, nödströmsförsörjning, stigarledningar och två tryckhöjande pumpar.

Figur 3-2 Kista Science Tower [54].

4 RISKHANTERINGSPROCESSEN

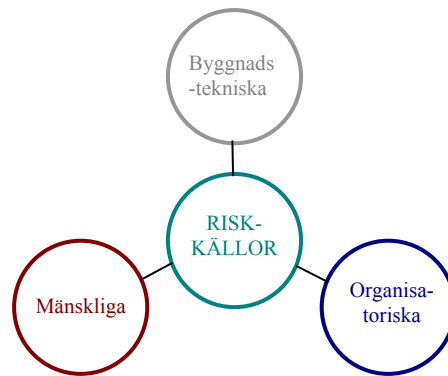
Studien över höga byggnader genomförs utifrån ett riskperspektiv med hjälp av riskhanteringsprocessen. Hur processen är uppbyggd demonstrerar figur 4.1, där ingående moment åskådliggörs. De olika momenten beskrivs sedan i detta kapitel över hur de kan tillämpas på en specifik hög byggnad, som kallas Rumlaborg och ska bestå av 27 våningar. Tillämpningen sker först i kapitel 5. Riskhanteringsprocessen ska bidra till att oplanerade händelser överförs till att bli mer förutsägbara och därmed kontrollerbara.



Figur 4-1 Schematisk bild över riskhanteringsprocessen.

4.1 Identifiering och inventering av risker

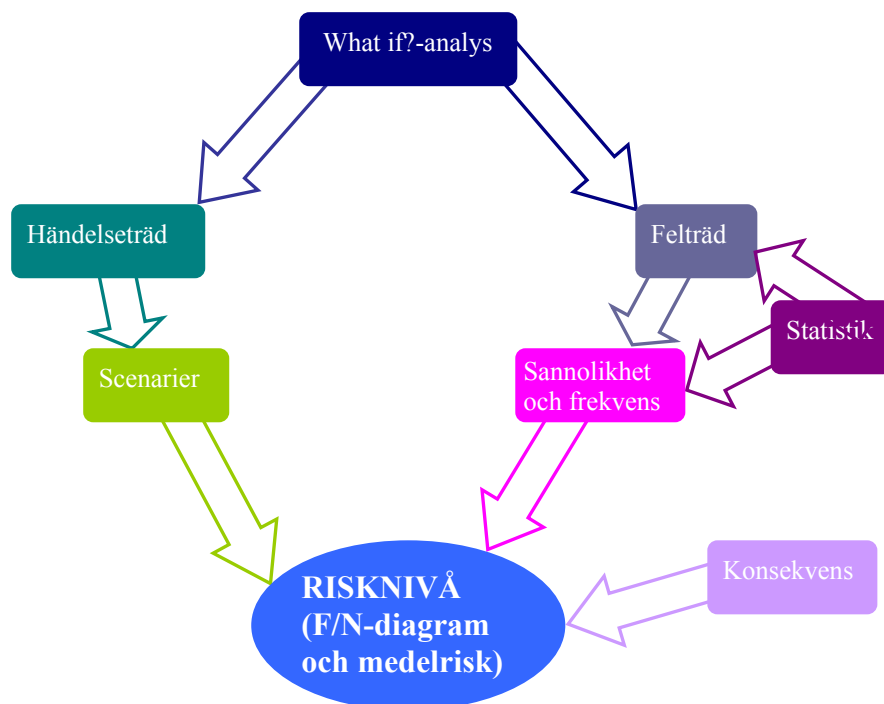
Flera förutsättningar förändras för höga byggnader jämfört med lägre och vissa problem kan uppkomma. Dessa problem är riskhöjande faktorer som uppstår eller tilltar på grund av höjden och de kan identifieras för att möjliggöra en förberedelse på vad som kan inträffa i den höga byggnaden. Riskfaktorerna identifieras genom brainstorming, litteraturstudier och diskussioner/intervjuer med personer i branschen som är insatta i problematiken med höga byggnader. Faktorerna kan delas upp i tre riskkällor. De tre riskkällorna är byggnadstekniska, mänskliga och organisatoriska riskkällor, se figur 4.2. De interfererar med varandra men kommer att beskrivas var för sig. I de byggnadstekniska riskkällorna ingår både passiva och aktiva skyddssystem.



Figur 4-2 Riskfaktorerna delas upp i tre riskkällor.

4.2 Analys av risker

Riskanalysen är ett systematiskt arbetsverktyg som används för att beskriva risksituationen för t ex personerna i en byggnad. En riskanalys består av flera olika steg och resulterar i en framställning av risknivån, se figur 4.3. För den höga byggnaden utnyttjas en what if?-analys som grundas på de riskhöjande faktorerna som identifierats. What if?-analysen leder i sin tur leder till en händelseträdsanalys. Händelseträdet visar vilka händelser som påverkar utrymningsförloppet då brand uppstår i en lägenhet (i den höga byggnaden). För att kunna beräkna risken utifrån ett händelsetråd, bestäms konsekvens och sannolikhet för varje händelse som ingår i händelseträdet. Sannolikheterna tas fram med hjälp av felträd och statistik och de ger frekvensen för varje scenario. Risken som bestäms utifrån händelseträdet gäller för brand i *en* lägenhet. Eftersom sannolikheten för brands uppkomst är densamma för alla lägenheterna måste beräkningarna utföras för varje lägenhet i byggnaden. När risken bestämts för alla lägenheterna summeras risken och risknivån för hela byggnaden erhålls. Risknivån presenteras sedan med F/N-diagram och medelrisk.



Figur 4-3 Schematisk bild över de delar som ingår i analysen för att nå resultat i form av en risknivå för den höga byggnaden.

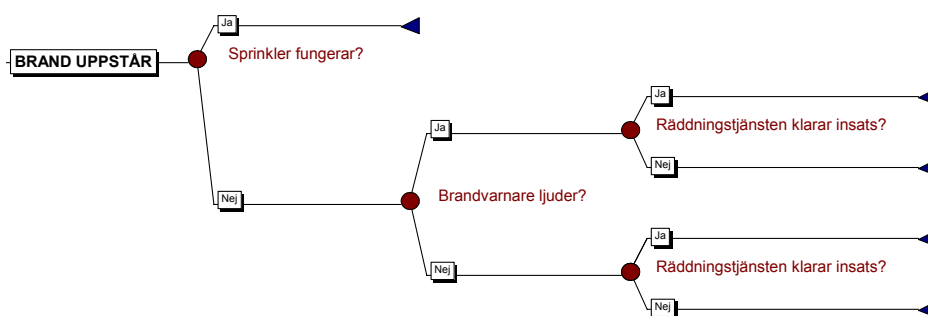
4.2.1 What if?-analys

En what if?- analys är en metod som används för att systematiskt beskriva och ifrågasätta oplanerade händelser. Händelserna representeras av de identifierade riskfaktorerna. De oplanerade händelserna kan vara t ex felfunktion hos tekniska komponenter eller andra oväntade händelser som kan inträffa. När faktorerna ifrågasätts sker en redogörelse av de skadehändelser som kan uppstå och man för dessutom upp deras orsaker till ytan. Sedan är det möjligt att definiera åtgärder, både de som är vidtagna och de som rekommenderas för att reducera risknivån [29].

Arbetsgången i en what if?-analys är att först ställa en mängd frågor som börjar med ”vad händer om?”. Frågorna ska avslutas med oplanerade händelser som kan inträffa. Ett exempel är ”vad händer om sprinklern inte fungerar?”. Därefter beskrivs de skadeförlopp (konsekvenser) som kan inträffa till följd av händelserna. Dessutom fastställs orsakerna till att händelserna kan ske och sedan kan förslag på åtgärder ges.

4.2.2 Händelseträdsanalys

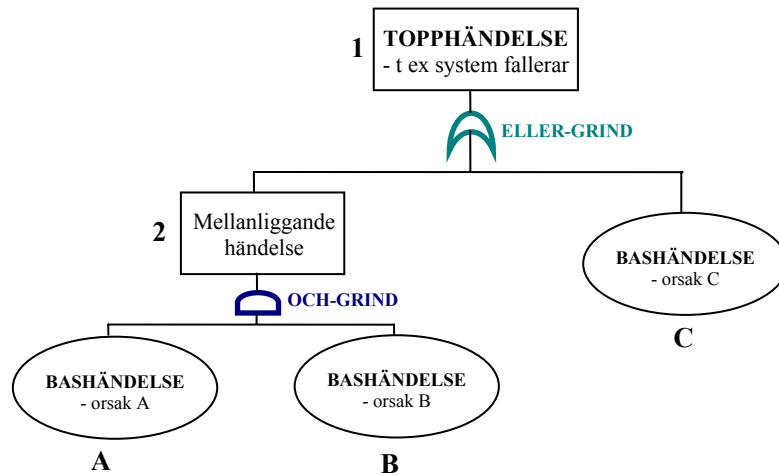
Ett händelsetråd är ett logiskt diagram. Det beskriver de skadehändelser som kan inträffa efter det att en utlösande incident har inträffat, t ex att brand har uppstått. En skadehändelse består av en förgrening där händelsen antingen sker eller ej. De olika händelserna anges i kronologisk följd och resulterar i en mängd scenarier som kan beskriva risken kvantitativt med hjälp av konsekvens och frekvens [29]. Händelseträdsanalysen utnyttjas för att ge en helhetsbild över risken i det höga huset. De olika scenarierna redogör för hur utrymningsförloppet påverkas för personerna i byggnaden och de studeras vidare med avseende på konsekvens och sannolikhet (eller frekvens). Den utlösande incidenten anges med frekvens och de resterande händelserna med sannolikheter, vilket resulterar i formen frekvens för alla scenarierna. Exempel på ett händelsetråd visas i figur 4.4 som innehåller fem scenarier.



Figur 4-4 Exempel på ett händelsetråd.

4.2.3 Felträdsanalys

Felträd konstrueras och användas i riskanalysen för att tilldela varje händelse i händelseträdet ett värde på sannolikheten. Ett felträd består av en topphändelse (t ex felfunktion hos ett system), och dess bakomliggande orsaker som representeras av en mängd bashändelser, se figur 4.5.



Figur 4-5 Beskrivning av ett felträd.

Räkneregler som används för att bestämma sannolikheten för topphändelsen gäller för felträdsanalys och redovisas nedan [33]:

OCH-GRIND: $P_2 = P_A \cdot P_B$

ELLER-GRIND: $P_1 = P_2 + P_C - (P_2 \cdot P_C)$

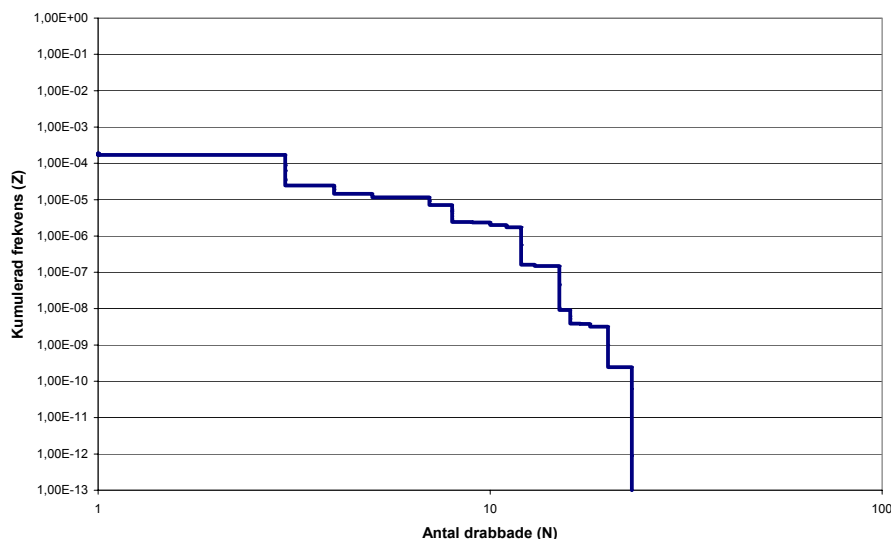
4.3 Risknivå

Den kvantitativa riskanalysen mynnar ut i en risknivå. Risknivån kommer att illustreras med hjälp av F/N-diagram och risknivån kommer att anges med ett mått på medelrisken. Flera olika kombinationer av skyddssystem ska ingå i analysen och det resulterar i olika riskbilder.

4.3.1 Medelrisk och F/N-diagram

För att bedöma risken för de boende i den höga byggnaden används måttet medelrisk, "förväntat antal drabbade per år". Värdet speglar i vilken storleksordning nivån ligger på och ger en möjlighet till en jämförelse mellan olika alternativ av skyddssystem som kan tänkas finnas. Riskbilden åskådliggörs och bedöms även utifrån F/N-diagram, som visar fördelningen av antalet drabbade, se figur 4.6 för ett exempel på ett F/N-diagram. Definitionen för "drabbad" är att en person utsätts för kritiska förhållanden. Vid en värdering av kritiska förhållanden bör följande variabler beaktas [2]:

- ✦ Siktbarhet
- ✦ Temperatur
- ✦ Värmestrålning
- ✦ Giftiga gaser



Figur 4-6 Exempel på ett F/N-diagram.

4.4 Riskvärdering

Riskenivån för den höga byggnaden antas variera beroende av vilka skyddssystem som finns i byggnaden. Risknivån kan jämföras och värderas för att ge en uppfattning om hur risken påverkas av olika kombinationer av skyddssystem. När värderingen utförs är det viktigt att de osäkerheter som uppstår under analysens gång finns med i bakgrunden. Resultatet kan ge en uppfattning om storleksordningen för risken, men resultatet bör inte betraktas som exakt eftersom det finns osäkerheter som påverkar resultatet.

4.4.1 Kriterier för värdering

Det är önskvärt att det finns acceptanskriterier när en riskvärdering utförs. Kriterier definierar vilket område i F/N-diagrammet som ger en acceptabel risk, respektive oacceptabel risk. Det finns i nuläget inga kriterier i Sverige som är allmänt accepterade av samhället (ett fåtal kommuner i landet har dock infört vissa kriterier som riktlinjer). Det finns länder i Europa där man har godkänt acceptanskriterier som riktlinjer eller som lag och kan på det viset jämföra en beräknad risk med de kriterierna [41, kap 1]. Räddningsverket har gett förslag till acceptanskriterier [41, kap 8.4], men de kan inte utnyttjas i analysen som utförs i den här rapporten, eftersom de förutsätter att konsekvensen ges i form av antalet omkomna och inte i antalet drabbade (att utsättas för kritiska förhållanden betyder inte tvunget att man omkommer). På grund av det utnyttjas endast en linje i diagrammet som stöd för värderingen och den ska inte tolkas som ett acceptanskriterium. Bedömningen av riskbilden utförs genom en jämförelse mellan de olika skyddssystemen och mellan olika höga byggnader.

4.5 Riskreducerande åtgärder

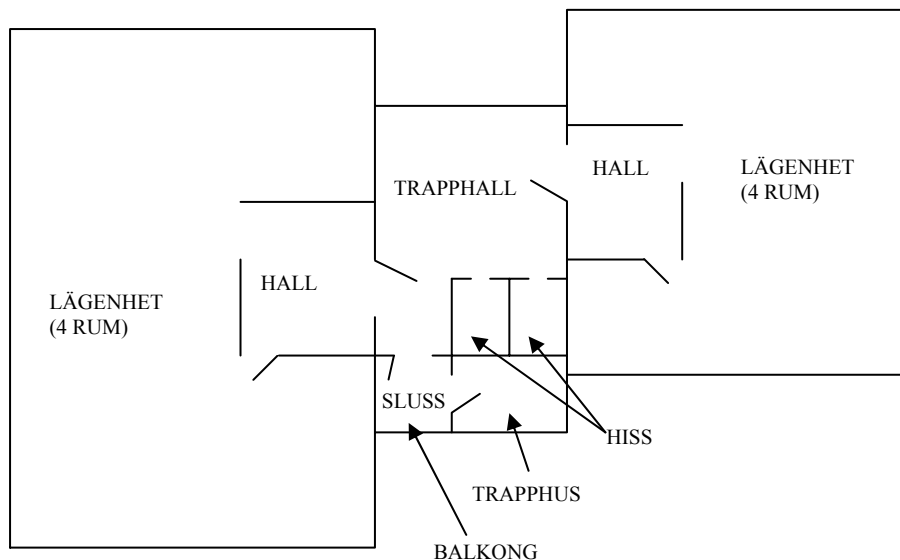
Utifrån analysen och värderingen av riskenivån kan en inventering av möjliga åtgärder ske. Dessa värderas för att kunna ge förslag på åtgärder för den höga byggnaden. Åtgärderna delas upp på de tre elementen; byggnadstekniska, mänskliga faktorn och organisatoriska. Ingen särskild hänsyn tas dock till de ekonomiska aspekterna för de rekommenderade åtgärderna. Det är sedan viktigt att en uppföljning av processen sker, för att säkerheten i byggnaden ska bejaktas.

5 RISKANALYS AV HÖG BYGGNAD - 24 VÅNINGAR

5.1 Objektsbeskrivning - Rumlaborg

Studieobjektet som representerar höghuset i analysen är byggnaden Rumlaborg som planeras att byggas i Huskvarna, Jönköping, av NCC. Enligt planerna är Rumlaborg ett flerbostadshus på 27 våningar och är ca 80 m högt. Våning 25 består av en relax- och bastuavdelning, våning 26 och 27 utgörs av teknikutrymmen. De återstående 24 planen utgörs av lägenheter, 4-6 rum och kök, där 4 rum och kök dominerar. Analysen baseras på en förenkling av byggnaden, vilket innebär att den antas bestå av 24 våningar och enbart lägenheter med 4 rum och kök.

Byggnaden planeras att utföras i två delar med ett mellanliggande trapphus som har en tillhörande brandsluss. Brandslussen är en balkong och är därmed öppen ut mot det fria (se figur 5.1 för en planskiss). Trapphuset utförs som TR1 enligt Boverkets Byggregler, då trapphuset utgör den enda utrymningsvägen i ett bostadshus och byggnaden har fler än åtta våningar [2]. Stommen ska bestå av betong.



Figur 5-1 Planskiss över Rumlaborg, förenkling utifrån ritningar av Gustavsson, Creacon [21].

Varje lägenhet förses med brandvarnare, el- eller batteridrivna (vilken sort som ska finnas i Rumlaborg är inte bestämt). Utrymningsstrategin för komplexet är att endast den brandutsatta lägenheten utryms initialt, då brandvarnaren utlöser eller tidigare. Rumlaborg sprinklas eventuellt, om det anses krävas för att uppnå önskvärd säkerhet och skydd för de boende om brand uppstår. Likaså förses byggnaden eventuellt med en brandhiss om det anses krävas för att tillfredsställa tillgängligheten och för att göra arbetet säkrare för räddningstjänstens personal. Räddningstjänstens insatstid är ca 10 minuter. (För att klara en insatstid på 10 minuter i en hög byggnad krävs oftast ett tekniskt byte, t ex sprinkler eller brandhiss.)

Hisschakten förses med trycksättning för att förhindra vertikal brandgasspridning till de överliggande våningarna. Analysen inkluderar även en studie där trycksättningen inte finns. I byggnaden finns två stycken oberoende pumpar, en eldriven och en dieseldriven. Det är tryckstegringspumpar som ska göra att tillräcklig mängd och tryck på vattnet erhålls för släckning av brand på de övre våningarna [27].

5.2 Förutsättningar

Analysen av den höga byggnaden, inklusive de antaganden som används, görs utifrån de förutsättningar som finns för den aktuella byggnaden, Rumlaborg. Det går att dra paralleller till andra byggnader men förhållandena kan lätt skifta, t ex i form av verksamhet, antal personer som vistas i bygganden, geometrisk komplexitet för byggnaden, utrymningsstrategi, aktuella skyddssystem, insatstid för räddningstjänsten och storlek på insatsstyrkan.

Personsäkerheten för de boende och för räddningstjänstpersonalen studeras då brand uppstår i en lägenhet. Slussar och trapphus bör vara fria från lös inredning, d v s brännbart material, och därför antas en brand inte uppstå i dessa utrymmen [7]. De få teknikutrymmen som finns är belägna på de två översta planen och de förutsetts vara låsta. Sannolikheten att en brand skulle utbryta där antas vara liten och följderna bedöms vara små, därför försummas den risken. Även risken för brand i relax- och bastuavdelningen antas vara liten, vid jämförelse med brand i en lägenhet och ingår inte i analysen.

Då byggnaden består av betong, förutsätts bärverket hålla under den tiden av brandförloppet som studeras i analysen. Den slutsatsen dras utifrån diskussion med personal från Räddningsverket [65]. I analysen behandlas inte spridning av brand- eller brandgaser via ventilationssystemet. Det anses att skillnaden på spridning via ventilationssystemet i en hög byggnad inte skiljer sig nämnvärt från den i en låg byggnad. Ventilationssystemet i en hög byggnad delas nämligen upp i flera olika delar som omfattar ca 6 våningar [27, bilaga 2:1]. Systemet antas vara konstruerat på ett sätt som effektivt förhindrar spridning via ventilationen.

Dörrstängare bidrar till att minska risken för att sluss och trapphus ska bli fyllda med brandgaser, till följd av att de boende i brandutsatt lägenhet evakuerar och glömmer stänga till dörren. Det är en stor bidragande faktor till att slussen blir fylld enligt insatser som gjorts i flervåningshus [14, kap 2], [65]. Analysen förutsätter att dörrstängare finns till varje lägenhet och till trapphuset.

5.3 Identifiering av riskfaktorer

Många faktorer påverkar byggnadens riskbild och de identifieras för att ge en grund till vilka problem som kan uppstå i en hög byggnad (med de förutsättningar som gäller för Rumlaborg). Riskfaktorerna delas upp i tre riskkällor, byggnadstekniska, mänskliga och organisatoriska riskkällor. Flera av faktorerna undersöks grundligare i what if?-analysen som redovisas senare i rapporten, se kapitel 5.4.

5.3.1 Byggnadstekniska riskkällor

Ändrad utrymningsituation:

Utrymningsituationen som uppstår vid höga byggnader kan medföra fara för utrymmande personer och dessutom för räddningstjänstpersonalen. Utvändiga utrymningsvägar kan inte användas och evakuering via stegbil hindras av att de inte når högre än ca 8 våningar. Situationen innebär längre väg att utrymma för personer som befinner sig högt upp. Det är möjligt enligt lagstiftningen att konstruera en hög byggnad med bara *ett* trapphus, men trapphuset måste då utföras som Tr 1. Det kan resultera i att många personer befinner sig samtidigt i trapphuset vid en utrymningsituation [7].

Om det i en nödsituation krävs en total evakuering kan det bli trångt i trapphuset om det är mycket personer som ska evakueras, samtidigt som räddningstjänstpersonalen ska ta sig upp i trapphuset. Risken för att det ska ske ökar ju fler personer det finns i byggnaden. Rumlaborg är ett bostadshus med ett begränsat antal boende, till skillnad från t ex en kontorsbyggnad som kan rymma fler människor. Den långsammaste personen styr utrymningsfarten. Det kan vara tröttsamt att utrymma många våningar, speciellt om trappan är spiralformad. För många handikappade, sjuka och äldre är det svårt att utrymma många våningar via trapphus [14, kap 3].

En totalutrymning kan innebära problem om det blir fler utrymmande personer i trapphuset än vad det är dimensionerat för. Detta kan ske t ex vid bombhot. Då många personer utrymmer från olika våningar öppnas fler dörrar till trapphuset. Det ökar risken för att rök ska spridas i byggnaden. Om trapphuset blir rökfyllt kan utrymningen underlättas genom fungerande brandgasventilation. Ventilationen av trapphuset i Rumlaborg utgörs av en lucka i den övre delen av huset. Räddningstjänsten har därmed möjlighet att trycka ut brandgaserna genom luckan för att möjliggöra fortsatt passage genom trapphuset.

Det tar längre tid att totalevakuera en hög byggnad via trapphus jämfört med en låg byggnad [58]. Personerna kan också vara stressade och rädda då de vet att de befinner sig högt ovan mark. De kan ha sett räddningstjänsten anlända till platsen för att påbörja sin insats, vilket också kan bidra till ökad stress och rädsla. Det kan driva dem till att evakuera trots att utrymningsstrategin är att de ska stanna på säker plats i sina lägenheter. Då personer utrymmer på eget initiativ sätts utrymningsstrategin ur spel. En annan anledning till att utrymningen inte sker enligt planerna kan vara att de boende inte vet hur de ska utrymma.

Tillgänglighet och säkerhet för räddningstjänsten:

Inträngning via balkonger eller fönster, upp till 8 våningar, tillämpas inte i höga byggnader. Det är ineffektivt vid brand i hög byggnad anser räddningstjänsten som är representant för Rumlaborgsprojektet [68].

Inträngningsvägen blir längre om branden är högt upp i en byggnad. Det betyder att även vägen ut blir längre, vilket gör situationen värre om något förutsett skulle inträffa och personalen tvingas retirera. Längre inträngningsväg kan betyda att insattiden blir längre då det tar tid att nå branden. Det kan i sin tur innebära större tillväxt och spridning av branden samt mindre chans till livräddning.

Glas från fönster samt fasad kan falla ner från byggnaden och detta kan orsaka stora problem om det sker från hög höjd [11]. Det försvårar en insats för räddningstjänsten och påverkar förhållandena för de personer som utrymmer.

För att kunna göra en effektiv insats är räddningstjänstpersonalen beroende av tillfredsställd vattenförsörjning. Det säkerställs genom tillräckligt vattentillflöde i tillloppet, fungerande stigarledningar, och tryckhöjande pump. Tryckhöjande pump krävs för att erhålla tillräckligt högt tryck på vattnet i munstycket för de högt belägna våningarna. En installerad och fungerande brandhiss kan underlätta för personalen, då de slipper ta sig upp till branden via trapphuset. Om de går i trapphuset finns det stor risk att de är för trötta för att kunna göra en effektiv insats när de når brandutsatt lägenhet [15, kap 2]. Det innebär också att de går samma väg upp som utrymmande personer kommer neråt, vilket kan resultera i en fördröjning då det kan bli trångt i trapphuset och utrymmande personer behöver hjälp samt ställer frågor.

Brandcellsgränser:

Det kan vara svårare att kontrollera en brand på hög höjd och det är då viktigt att förhindra spridning mellan brandceller. Ventilationssystem, schakt och otätheter (i form av t ex brister i tätningar vid installation) kan sprida brandgaserna snabbt mellan brandceller [50, kap 1]. För att undvika att brandgaser når schakt och trapphus och sprider sig vidare i byggnaden, kan man trycksätta dessa. Trycksättning av hisschakten tillämpas i Rumlaborg, men trapphuset har en sluss som är öppen till det fria (balkong) istället för trycksättning. Uteblir funktionen av trycksättningen ökar risken att brandgaserna når övriga delar av byggnaden. Man förlitar sig till att tekniska komponenter fungerar. I byggnader uppstår en skorstenseffekt (varm luft är lättare än kall luft och rör sig därmed uppåt i byggnaden då det är kallare ute än inne). I en hög byggnad kan schakten utgöras av många våningar och resultatet blir en ökad skorstenseffekt med kraftigt drag i schakten. Det leder till att brandgaser förs uppåt i byggnaden [50]. Brandgaser kan på det viset sprida sig snabbt genom vertikala passager och breda ut sig på övre våningsplan [11]. Då fönsterrutor går sönder i brandlägenheten eller om personer slår sönder fönsterrutorna i byggnaden, kan skorstenseffekten tillta och öka spridningen av brandgaser [42].

Om en brand inte släcks finns det en chans att den brinner ut när bränslet tar slut, men om branden sprider sig kommer bränslet i det nya utrymmet att gynna branden. Vertikal spridning mellan brandceller, via fönster och fasad, är ett problem som ger ökad risk vid höga byggnader [14, kap 1.5]. I lägre byggnader har räddningstjänsten större möjlighet till att begränsa den risken genom en utvändig insats. De kan även nå brandutsatt våning snabbare för att göra en invändig insats.

Bärverk:

Alla våningar ovan en eventuell brand förlitar sig på bärförmågan av det brandutsatta bärverket. Brand i en hög byggnad kan vara svårare för räddningstjänsten att kontrollera och släcka. Om branden då pågår under lång tid finns det risk för kollaps av den bärande konstruktionen. Rumlaborg ska bestå av betong och det klarar en brand under 60 minuter eftersom bärverket har klass R60. Enligt BBR [2] ska bärverket uppfylla brandteknisk klass R90 (90 minuters motstånd mot brand) men då byggnaden är sprinklad görs ett tekniskt byte och kravet sänks till R60.

Vattenförsörjning:

Både sprinkler (om det finns installerat) och stigarledningar är beroende av tillräcklig vattenförsörjning. Utan tillräcklig vattenförsörjning kan sprinklerns släckande funktion utebli och räddningstjänstens chans att göra en effektiv insats, vad gäller släckning av branden eller livräddning, minskar. Stigarledningar krävs i byggnader som överstiger åtta våningsplan [7, kap 12.2]. Om byggnaden är hög, över ca 50 m, kan inte räddningstjänstens fordonspump få upp tillräckligt tryck på vattnet på de övre våningarna [66]. Därför behövs en tryckhöjande pump i byggnaden. Dessutom behövs tryckreducerande komponenter för att trycket inte ska bli för högt på de lägre våningarna. Räddningstjänstens vattenförsörjning kräver alltså tillit till tekniska komponenter vid insats på hög höjd i en byggnad. Sabotage kan orsaka att stigarledningarna inte fungerar då dessa finns oskyddade i trapphusen.

Väder och vind:

Vindhastigheten utomhus ökar med höjden. Turbulensen kan också vara större på hög höjd då den är proportionell mot vindhastigheten i kvadrat [20]. Turbulens uppstår till följd av tryckskillnader och att vinden kommer i kontakt med underlaget. Kraftig och turbulent vind påverkar en hög byggnad och kan orsaka förvärrad spridning av branden. Åska är ytterligare

en faktor som orsakas av naturen. Risken att blixtnedslag ska inträffa, är större då byggnaden är hög. Blixtnedslag kan orsaka ökad brandrisk.

På vintern då det är kallt ute är temperaturdifferensen stor mellan inne- och uteluft. Det leder till att en skorstenseffekt uppstår som ökar genomströmningen av luft i en byggnad. Luft sugas in på låg höjd och trycks ut på hög höjd på grund av tryck- och temperaturskillnader. Luften transporteras via otätheter och öppningar. Skorstenseffekten blir större då byggnaden är hög. Detta betyder att luften i större utsträckning kommer att föra med sig brandgaser vid en eventuell brand och fylla utrymmen ovan brandutsatt våning med brandgas [50].

Byggtid:

Under byggtiden kan olyckor lätt inträffa och det kan vara farligt att arbeta på hög höjd. Det kan uppstå en situation som kräver en insats av räddningstjänsten. Räddningsmanskaper kan då ha svårare att komma till i en hög byggnad när den är under byggnation. Skyddssystemen som t ex sprinkler, brandhiss och stigarledningar är eventuellt inte färdiginstallerade. En insats i en hög byggnad kan kräva mer räddningstjänstpersonal och planering än i en låg.

Brandvarnare:

Detektion av branden via brandvarnare förkortar tiden till det att evakuering påbörjas och det är en fördel eftersom utrymningsförloppet kan vara mer komplicerat i en hög byggnad. De boende kan också förmedla larm till räddningstjänsten snabbare om detektion sker, så räddningsstyrkan hinner dit fortare. Om detektionssystemet, d v s brandvarnaren, inte fungerar (tekniska system har inte 100 % tillförlitlighet) och ingen person vistas i brandlägenheten krävs det att någon utomstående lägger märke till branden för att kunna larma räddningstjänsten. Inträffar branden på en våning högt upp kan det vara svårt att från utsidan uppmärksamma branden, eftersom det då är svårare att upptäcka branden visuellt eller via röklukt.

Kommunikationssystem:

Kommunikationsproblem i en hög byggnad kan försvåra en insats för räddningstjänsten. Vid en insats underlättar det för räddningspersonalen om ett kommunikationssystem finns i byggnaden. Om något/några av skyddssystemen i byggnaden inte fyller sin funktion kan räddningstjänsten behöva styra evakueringen i byggnaden, för att undvika kaos och stress hos de utrymmande personerna. En hög byggnad förutsätter då ett fungerande högtalarsystem där personalen kan kommunicera med och styra de utrymmande personerna [15, kap 4].

Sprinklersystem:

Personer i en byggnad utan sprinklersystem utsätts för större risk än om byggnaden är sprinklad. Sprinkler höjer personsäkerheten i en byggnad avsevärt genom att förlänga tiden till kritiska förhållanden [7]. Sprinkler finns eventuellt i byggnaden och om tekniska byten då sker pga sprinklern, krävs det att man vid dimensionering av byggnaden tar hänsyn till att sprinkler inte har 100 % tillförlitlighet. I en hög byggnad kan det uppstå ett problem med vattentillförseln, eftersom det måste finnas en tryckhöjande pump för att få erforderligt tryck på hög höjd. Om sprinklernas släckande funktion uteblir kommer man att vara beroende av en effektiv insats av räddningstjänsten. Konsekvenserna av fallerande sprinklersystem i en hög byggnad kan då bli större än i en lägre eftersom räddningstjänsten kan ha svårare att göra en insats i en hög byggnad.

Brandhiss:

I en hög byggnad utan brandhiss tvingas räddningstjänstpersonalen ta sig och utrustningen till brandutsatt våning via trapphuset. Det medför en längre insatstid för räddningstjänsten. Via en brandhiss kan räddningsmanskaper lättare utföra en effektiv insats och evakuera skadade, handikappade, sjuka och äldre som har svårt att utrymma på annat sätt. En brandhiss utnyttjas i vardagslag av de boende (dvs när det inte brinner i byggnaden), men när det uppstår en brand i huset används brandhissen endast av räddningsmanskaper. Hissen manövreras då manuellt för att utrymmande personer inte ska utnyttja hissen och manövreringen kan endast ske av räddningstjänsten. Det ställs särskilda krav på brandhissen jämfört med en vanlig hiss. Den ska ha ett visst motstånd mot brand och vatten, utrustas med trycksättning samt försedd med säkerställd elförsörjning [17]. Det bör beaktas att man förlitar sig på tekniska komponenter och att de inte har 100 % tillförlitlighet.

5.3.2 Mänskliga riskkällor

Människors status:

Utrymningsituationen påverkas i hög grad av vilken typ av människor som vistas i byggnaden. Den verksamhet som bedrivs kan i vissa fall spegla människorna. Rumlabor utgör ett bostadshus där olika typer av människor kan bo. Det är viktigt att ta hänsyn till detta när säkerheten för de boende beaktas. Sjuka, handikappade och äldre har svårt att utrymma ur höga byggnader och kan vara beroende av räddningstjänstens hjälp om det inte finns en säker flyktplats som de kan ta sig till [14, kap 7]. Verksamheten och typen av människor styr hur väl personerna känner till byggnaden. I ett bostadshus förväntas de vara familjära med omgivningen. Det är skillnad mot t ex hotell, kontor och sjukhus. Hur välbekanta de är med byggnaden kommer att avgöra utrymningsförloppet.

Utrymningsbeteende:

Vetskapen om att det är lång väg ner till mark kan vara psykologiska jobbigt och det kan öka stressen. I en hög byggnad använder merparten av människorna hissarna för att ta sig upp. Det innebär att trapphuset är mindre bekant än i ett lägre hus, vilket kan fördröja utrymningsförloppet. Vid en utrymning tar merparten samma väg ut som de tog in i byggnaden och det fungerar dåligt i en hög byggnad där hissarna inte används vid utrymning [11].

Sabotage:

Risken för ett attentat kan öka vid höga byggnader då de utmärker sig i sin omgivning. Om skyddssystemen slås ut innan en pyroman anlägger en brand eller någon detonerar en bomb, kan konsekvenserna bli stora då säkerheten baseras på de skyddssystem som finns i byggnaden. Ett bombhot kan tvinga fram en totalutrymning som måste ske omgående och det kräver att man är förberedd [15, kap 10]. Om trapphuset inte är dimensionerat för den mängden personer som det kan innebära, kan komplikationer uppstå vid utrymningen.

5.3.3 Organisatoriska riskkällor

Ledningssystem:

I ett fungerande ledningssystem samordnas organisationens olika delar för att uppfylla de mål som ska uppnås. Ett välutvecklat ledningssystem kan vara särskilt viktigt för en hög byggnad. När ett beslut fattas ska en strategi utarbetas för hur genomförandet ska ske för att uppnå

önskvärda resultat. Målen kan gälla att t ex implementera olycksförebyggande och skadebegränsande åtgärder. Under genomförandet krävs information, kompetens och feedback. Det är sedan viktigt att bibehålla säkerheten för att åstadkomma en låg risknivå i framtiden. Utan ett fungerande ledningssystem minskar säkerheten.

Under byggtiden är det viktigt med planering för att hålla en hög säkerhet för de anställda då det föreligger större risk för att en brand ska uppstå. En byggarbetsplats involverar ofta många olika yrkeskategorier samt heta arbeten och brännbart material, vilket kräver säkerhetsrutiner för att hålla risken nere under byggtiden. En brandskyddsansvarig ska utses vid heta arbeten, vilken bör utbilda övriga i säkerhetstänkandet [57]. Kvalitetssäkring är ytterligare en viktig faktor för säkerheten, särskilt i en hög byggnad, eftersom t ex otätade genomföringar kan ge brand- och brandgasspridning i byggnaden om brand uppstår.

Säkerheten måste bibehållas då byggnaden tagits i bruk, för att risken i en hög byggnad inte ska bli större än i en låg. Man är ofta beroende av de skyddssystem som finns i byggnaden för att undvika en katastrof om en brand inträffar. Utan regelbunden tillsyn, kontroller och tester, felar ofta tekniska komponenter. I höga byggnader förlitar man sig ofta på tekniska system och komponenter för att nå hög säkerhet och det måste beaktas i organisationen.

Kommunikation:

En viktig del för bibehållen säkerhet är kommunikation mellan involverade parter. För de personer som inte är insatta i problematiken med brand och höga byggnader är det av vikt att information sker till dem. I informationen bör det poängteras vad som är viktigt att tänka på och varför. Rapportering och uppföljning av det som sker, t ex tillbud, kan gynna säkerheten i framtiden [15, kap 13]. Även erfarenhetsåterföring (lära sig och andra av misstag som begåtts) kan också gynna säkerheten. Kommunikationsmöjligheter mellan personer i byggnaden, räddningstjänsten och säkerhetspersonal underlättar vid utrymning och vid insats i en hög byggnad. Det är annars svårt att kommunicera i en byggnad som har många våningar [15, kap 3].

Räddningstjänsten:

Om en hög byggnad etableras i en stad kan det krävas förändringar för räddningstjänsten. Insatsplaner måste utarbetas, personalen behöver utbildning och övning för kommande insatser i den höga byggnaden [15, kap 11, 13]. Det krävs därmed organisation och planering för att vara väl förberedd för en brand och för att kunna göra en effektiv insats i hög byggnad.

5.4 What if?-analys

För att kvalitativt undersöka riskkällorna som kan finns i en hög byggnad, görs en what if?-analys. Analysen ger svar på vilka oväntade händelser som kan inträffa, deras konsekvenser samt orsakerna till att de inträffar. Med utgångspunkt från orsakerna, anges vidtagna och rekommenderade åtgärder.

De riskkällor, som ligger till grund för analysen, är de tidigare identifierade faktorerna (se kap 5.3). De faktorer som bedöms vara de allvarligaste väljs ut för att mer ingående undersökas. Riskfaktorerna kan vara i form av tekniska komponenter som inte fyller sina funktioner, eftersom de inte har hundra procentig tillförlitlighet. I höga byggnader består brandskyddet ofta av tekniska system och funktioner [5], [15, kap 4], [18].

Utifrån resultaten av what if?-analysen kan en bedömning göras av hur stor betydelse de olika faktorerna har för risken i byggnaden.

I. Vad händer om brandvarnaren fallerar?

- *Konsekvenser:*

När brandvarnaren inte fungerar, minskar sannolikheten för att personerna i lägenheten ska uppmärksamma branden i ett initialt skede [1]. Detta leder till att chansen för ett lyckat manuellt släckförsök minskar och att tiden innan utrymning sker blir längre.
- *Möjliga orsaker:*

En brandvarnare fungerar inte om elförsörjningen till den uteblir, till följd av strömavbrott om den är eldriven, eller att batterierna är slut om den istället är batteridriven. En annan orsak kan vara att en mekanism är sönder i brandvarnaren på grund av t ex dåligt underhåll eller hög ålder. Brandvarnaren kan även vara felplacerad, vilket leder till att brandvarnaren inte ljuder alls eller att den inte ljuder inom rimlig tid [1]. Inom rimlig tid innebär att personerna måste hinna utrymma efter det att brandvarnaren börjat ljuda. Orsakerna till att en brandvarnare inte ljuder inom rimlig tid åskådliggörs i ett felträd, se appendix B.1.
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Efter en värdering av vilken typ (el- eller batteridriven) som under omständigheterna har högst tillförlitlighet och är det möjligt att välja den typ som är mest lämpad. För att bibehålla tillförlitligheten efter installation bör brandvarnare servas, kontrolleras och bytas ut med jämna mellanrum. För att minska risken med förlorad elförsörjning kan nödströmsförsörjning till brandvarnaren installeras. En viktig åtgärd är dessutom att placera brandvarnaren på rätt plats i lägenheten.

II. Vad händer om sprinkler inte finns eller om sprinklerfunktionen uteblir?

- *Konsekvenser:*

Sprinkler minskar risken för de personer som vistas i en byggnad (om sprinklern fungerar), genom att lindra konsekvenserna vid en brand. Risken minskar genom att de boende får längre tid på sig att hinna utrymma och sannolikheten för att kritiska förhållanden ska uppstå reduceras kraftigt [7, kap 6.3]. Detta gynnar särskilt de personer som inte själva kan utrymma [32, kap 7.2]. Risken minskar även för räddningstjänstpersonalen som ska göra en insats.

När det uppstår brand i en sprinklad lägenhet, finns det risk för att sprinklern inte fungerar, och man bör vid projektering av byggnaden ta hänsyn till konsekvenserna som det kan medföra [4], [12]. Om sprinklerfunktionen uteblir kan det snabbt uppstå ogynnsamma förhållanden med tjocka, varma brandgaser. Om sprinklern inte fungerar skickas inget larm automatiskt till räddningstjänsten vilket betyder att insatsen kan bli fördröjd.

Vidare kan brand- och brandgasspridning ske till andra delar av byggnaden. Brandgasspridning kan ske till slussen och sedan ut till trapphuset. Det medför att utrymning försvåras eller förhindras för de boende som väljer att utrymma. Brandspridning till en annan lägenhet kan bli ett aktuellt scenario. Det kan ske främst genom fasadspridning, där branden når lägenheten ovan via fönstret. Det är svårt för

räddningstjänsten att kontrollera den typen av spridning om brand uppstår på en hög höjd i byggnaden. Om branden pågår under en längre tid finns det risk för en kollaps av bärverket. Sprinkler är en faktor som kan öka säkerheten, om inte andra system finns i byggnaden som ger samma skydd.

➤ *Möjliga orsaker:*

Orsak till att sprinklern inte fyller sin funktion kan vara otillräcklig vattenförsörjningen till följd av fel i sprinklerns vattentillopp eller en pump som felar. Andra orsaker kan vara feldimensionering eller felfungerande sprinklerhuvuden till följd av felaktig installation, ofullständig täckning eller brister i underhåll [32, kap 3.5]. Appendix B.2 beskriver orsakerna på ett logiskt vis i ett felträd.

Brand- och brandgasspridning kan ske inom byggnaden, då sprinklern inte bekämpar branden. Det kan bero på att dimensioneringen av brandskyddet förutsatte sprinklerns funktion och att tekniska byten skett av det passiva brandskyddet (t ex lägre brandteknisk klass på bärverk, avskiljande partier och ytskikt).

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Om sprinkler inte redan finns, kan sprinkler installeras som skyddssystem i byggnaden för att öka säkerheten om en brand uppstår. Vid projektering bör hänsyn tas till om tekniska byten sker till följd av installationen av sprinkler. Sprinkler ger ett bra skydd för personerna som vistas i byggnaden då tillförlitligheten är relativt hög (dock inte 100 % som är önskvärt) [9]. För att förhindra att sprinklerfunktionen uteblir är det viktigt att installationen är korrekt, att regelbundna kontroller utförs och att underhållet sköts. En extra tryckhöjande pump bör finnas som aktiveras om den ordinarie stannar och det är en vidtagen åtgärd i Rumlaborg [26].

III. Vad händer om dörrstängaren fallerar?

➤ *Konsekvenser:*

Om personer från brandutsatt lägenhet utrymmer och dörrstängaren ej fungerar mellan lägenhet och sluss eller mellan sluss och trapphus, kommer dörren att förbli öppen. Det ger risk för spridning av brandgaser mellan dessa utrymmen. En brandgasfylld sluss kommer att hindra personer på samma våningsplan från att utrymma till trapphuset och ett brandgasfyllt trapphus kan resultera i att alla som befinner sig ovan den brandutsatta våningen hindras från att utrymma.

➤ *Möjliga orsaker:*

Dörrstängare ökar chansen att dörren till brandrummet stängs efter passage vid en utrymning och risken för brandgasspridning minskar. Dörrstängare antas finnas i Rumlaborg. Att en dörrstängare inte fyller sin tänkta funktion kan bero på att dörren står uppställd. Dessutom har stängarna inte 100 % tillförlitlighet. Det kan bero på att någon mekanism är sönder, till följd av t ex brist i underhåll eller mekanisk åverkan.

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Information kan framföras till hyresgäster om innebörden av dörrstängares funktion. Det kan t ex minimera de tillfällen som dörrarna står uppställda. Underhåll av komponenter och kontroller av funktion är även här viktigt.

IV. Vad händer om brandhiss inte finns eller om brandhissen fallerar?

➤ *Konsekvenser:*

Om brandhiss inte finns eller om en existerande brandhiss inte fungerar kan det vara svårt för räddningstjänstpersonalen att nå en brandutsatt våning på hög höjd. Deras enda alternativ är då att via trapphuset ta sig till brandvåningen. Beroende av hur många som evakueras samtidigt kan komplikationer uppstå då räddningstjänsten ska ta samma väg upp som de utrymmande tar ner. Det är även svårt att göra en effektiv insats på grund av att det tar lång tid att bära all utrustning till en våning på hög höjd och då har insatspersonalen redan gjort av med mycket energi [15, kap 2]. Utrymning av handikappade och äldre personer försvåras om tillgång till brandhiss inte finns [14, kap 3].

➤ *Möjliga orsaker:*

En orsak till att en brandhiss stoppar kan vara utebliven elförsörjning. Andra orsaker är tekniska felfunktioner till följd av bristande underhåll, svaghet eller fel hos komponenter eller att komponenterna utsätts för brand. Brandhissen kan fela om maskinrummet överhettas eller om vatten tränger in i vitala komponenter. Dessutom kan komplikationer uppstå om trycksättning eller sektionering fallerar [67].

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Installation av en brandhiss i byggnaden är en åtgärd. Brandhissar ska utrustas med bl a nödströmsförsörjning och skydd mot vatten, enligt den europeiska standarden för brandhissar [17]. Eftersom en brandhiss består av tekniska system har den inte 100 % tillförlitlighet. Underhåll och kontroller kan därmed effektivt minska felfrekvenserna.

V. Vad händer om brandgasventilationen uteblir i trapphus?

➤ *Konsekvenser:*

Ventilationen av trapphuset består av en lucka placerad i toppen av trapphuset. Räddningstjänsten kan då med hjälp av en fläkt trycka ut brandgaser genom luckan. Om trapphuset fylls med brandgaser och brandgasventilationen (luckan) inte fungerar kan det bli problem med utrymningen för de personer som befinner sig ovan brandutsatt våning. Utrymningen försvåras då sikten blir nedsatt och inandning sker av de toxiska brandgaserna. Om det uppstår kritiska förhållanden i trapphuset förhindras fortsatt utrymning. Någon annan väg finns inte att tillgå, då trapphuset utgör den enda utrymningsvägen. En insats av räddningstjänsten kan även försvåras, speciellt om tillgång till brandhiss inte finns.

➤ *Möjliga orsaker:*

En orsak till att ventilationsluckor inte fungerar kan vara att den har kärvat fast, främst till följd av dåligt underhåll. Ytterligare orsaker till felfunktion kan vara att träramen runt luckan har utvidgat sig eller att luckan är fastmålad eller fastfrusen. Det kan även vara en komponent i öppningsmekanismen som gör att luckan inte går att öppna [69]. Om ventilationen är mekanisk kan föregående fel inträffa samt att styrsystemet inte fungerar, d v s möjligheten till manövrering bortfaller.

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Underhållrutiner är viktiga eftersom ålder, väder och vind snabbt kan påverka komponenterna negativt. Regelbundna kontroller av funktionen ökar chansen till att

systemet fungerar som det är tänkt. En enkel öppningsanordning kan dessutom bidra till att öka tillförlitligheten [69].

VI. Vad händer om tillräcklig vattenförsörjning inte uppnås?

- *Konsekvenser:*

Otillräcklig vattenförsörjningen kan medföra utebliven funktion hos sprinklern och komplikationer vid insats av räddningstjänsten. (Konsekvenserna av att sprinklern fallerar anges i punkt II.) Utan vattenförsörjning har räddningstjänsten svårt att utföra en effektiv insats, d v s säkerhetsmässigt saknar de skydd och de får ingen möjlighet till att bekämpa branden. En livräddande insats försvåras likaså. Branden och brandgaserna kan sprida sig i byggnaden och utsätta flera människor för fara. Räddningstjänsten måste försöka få vatten på annat sätt och det kan vara svårt att få upp vattnet på hög höjd, då en tryckhöjande pump krävs för att erhålla erforderligt tryck.
- *Möjliga orsaker:*

Orsaker till att vattenförsörjningen är otillräcklig för sprinklern kan vara att det uppstår fel i vattentiloppet för systemet eller att pumparna inte fungerar. Dessutom kan komponenter i systemet fela, till följd av felaktig installation eller brister i underhåll [26]. Otillräcklig vattenförsörjningen för räddningstjänstens insats kan bero på ovanstående orsaker, dessutom kan vattenreduceringen vara felinställd, vilket kan medföra för lågt tryck. Detta har skett under flera tidigare höghusinsatser i USA [24], [25], [31].
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

En vidtagen åtgärd i Rumlaborg är en extra dieseldriven tryckhöjande pump som aktiveras om ordinarie pump stannar. Det minskar risken för att vattenförsörjningen uteblir. Vattentiloppssystemet, som kan vara vatten från kommunal vattenledning eller från en reservoar, bör ha hög tillförlitlighet. Underhållet är då viktigt och det gäller likaså för andra komponenter i hela systemet. Vattenreduceringen ska kontrolleras så att den är korrekt inställd. Det bör finnas instruktioner för hur justeringen utförs och det bör inte vara komplicerat att göra denna justering, ifall räddningstjänsten får behov att göra detta vid en insats.

VII. Vad händer om brandcellsgränserna inte förhindrar spridning?

- *Konsekvenser:*

Brandcellsgränserna ska hindra att fler personer än de som befinner sig i brandlägenheten, drabbas om en brand uppstår. Utrymningsstrategin går ut på att endast de personer som befinner sig i brandlägenheten utrymmer om brand uppstår, medan andra personer i övriga delar av byggnaden anses trygga i sina respektive lägenheter. Om det inträffar att brandcellsgränserna inte klarar att förhindra spridning, kan brand eller brandgaser sprida sig i byggnaden. Brandgasspridning kan snabbt ske mellan olika brandceller i höga hus, bland annat pga kraftig horisontell luftgenomströmning [50, kap 1]. Brandspridning kan även ske via fasad och fönster, till andra lägenheter i byggnaden. Räddningstjänsten får ett svårare jobb med livräddning och släckarbete vid insatsen om brand- och brandgaser sprider sig i byggnaden.

- *Möjliga orsaker:*
Det kan finnas otätheter i konstruktionen som möjliggör läckage för brandgaser, t ex vid dörrar och genomföringar. På grund av den naturliga luftförelsen (skorstenseffekten) i byggnader, uppstår ett drag som kan sprida brandgaser via vertikala öppningar. Draget är särskilt påtagligt vid brand i höga byggnader [15, kap 10].
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*
För att förhindra brandspridning krävs rätt brandteknisk klass på konstruktionen som omger brandcellen. För att minska risken för att utvändigt brandspridning ska ske, bör konstruktionen av fasad och fönster utformas på lämpligt sätt. Tätning av genomföringar och andra läckageytor bör utföras, speciellt där det finns vertikala öppningar [37, kap 3].

VIII. Vad händer om svåra väderförhållanden uppstår?

- *Konsekvenser:*
Vissa naturfenomen, t ex åska, vind och isbildning, måste beaktas [3]. Åskväder kan leda till att blixten slår ner i byggnaden, vilket kan ske lättare då byggnaden är högre än sin omgivning. Detta kan leda till att brand uppstår. Vinden kan vara kraftigare på hög höjd och det kan medföra att brandgasspridningen förvärras i byggnaden, samt att hållfastheten påverkas [5]. Isbildning kan uppstå vintertid och om isklumpar eller istappar faller ner kan människor nedanför byggnaden komma till skada [3].
- *Möjliga orsaker:*
Orsaken, till att det blir komplikationer då väderförhållandena blir svåra, är att byggnaden är hög och på så vis påverkas i större grad.
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*
Åskledare bör installeras för att undvika brand till följd av blixtnedslag. Det är omöjligt att värja sig ifrån vinden och därför måste byggnaden klara en ökad vindhastighet. Uppsikt bör hållas under perioder då isbildning kan orsaka problem och vid fara bör inte människor vistas direkt i utsatt område [3]. Om möjlighet finns, kan snö och is föras bort från taket.

IX. Vad händer om brand uppstår eller en olycka inträffar under byggtiden?

- *Konsekvenser:*
En olycka eller brand under byggtiden kan förekomma. Skyddssystemen är då eventuellt inte färdiginstallerade och räddningstjänsten kan ha svårt att utföra en insats. Under byggtiden är det säkerheten för byggarbetarna som står i fokus då bostäderna är tomma. En brand kan lättare spridas, på grund av den icke färdigställda byggnaden. Branden kan utsätta byggarbetarna för fara och orsaka stor förödelse av konstruktionen.
- *Möjliga orsaker:*
Under byggtiden används mycket verktyg som kan orsaka brand om de inte hanteras på rätt sätt. Under konstruktionens gång är skyddssystemen eventuellt inte aktiva eller färdiginstallerade, vilket kan öka konsekvenserna vid en brand.

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Det är viktigt med en utredning hur byggarbetet ska utföras för att, under hela projektets gång, upprätthålla säkerheten för personalen. De måste utbildas till att själva förstå vilka konsekvenser en olycka kan medföra. Man bör också, i möjligaste mån, färdigställa skyddssystemen efter hand. Det är även av vikt att räddningstjänsten i alla skeden av byggtiden har möjlighet att ta sig fram till och in i byggnaden. Frågan kan behandlas i en fullständig utredning, men det ryms inte inom ramen för detta arbete.

X. Vad händer om sabotage inträffar?

➤ *Konsekvenser:*

Sabotage omfattar bl a anlagd brand, bombhot och bombattentat. Anlagd brand är en vanlig brandsak och ibland sätter utövaren vissa säkerhetssystem (t ex sprinklern) ur spel innan det sker. Det kan leda till större konsekvens än då skyddssystemen fungerar. En bombattack kan slå ut säkerhetssystemen och orsaka brand samt kollaps av konstruktionen. Om skyddssystemen slås ut kan det ge allvarliga konsekvenser för personerna i byggnaden och för räddningstjänsten, speciellt då byggnaden är hög. Byggnader dimensioneras normalt sett inte för att klara av en brand utan de vitala skyddssystemen [15, kap 10].

➤ *Möjliga orsaker:*

Orsakerna till att denna typ av sabotage kan uppstå är destruktiva människor och ett sårbart samhälle.

➤ *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*

Medvetenhet om sabotage bör uppnås för att uppmärksamma tillbud. Säkerhetskontroll i form av att obehöriga inte äger tillträde, kan minska risken att en olycka till följd av sabotage inträffar. Man bör skydda alla teknikrum för att förhindra att sabotage inträffar i dessa utrymmen [15, kap 10]. Byggnader dimensioneras inte för värsta tänkbara scenarier, t ex terroristdåd. I analysen tas detta ändå upp som en riskhöjande faktor eftersom det är av vikt att inte vara helt oförberedd på vilka konsekvenser det kan innebära. T ex bör en totalevakuering av byggnaden beaktas [16]. För att minska risken för att sabotage inträffar krävs en kraftansträngning för att upplysa och behandla de människor i samhället som begår dessa brott. En större satsning på informationsprogram för skolelever kan eventuellt minska antalet anlagda bränder.

XI. Vad händer om utrymmande personer upplever situationen stressande?

➤ *Konsekvenser:*

Om det är många som utrymmer genom ett och samma trapphus kan de utrymmande personerna bli stressade. Om förhållandena är svåra kan även panik utbryta bland de utrymmande personerna [53]. Risken för att personerna ska uppleva situationen stressande är större ju fler människor som utrymmer ur byggnaden. Beroende av hur många som utrymmer samtidigt kan trapploppen täppas till och de boende får svårt att fortsätta sin utrymning [37, kap 3].

- *Möjliga orsaker:*
Människorna i en hög byggnad kan bli stressade då vet att de ska utrymma lång väg. Personerna kan trilla i trappan då de är trötta eller yra pga att de gå runt nedför trappan. Personer som inte kan utrymma i den takt de vill kan bli stressade. Trapphuset kan vara trångt och rökigt, vilket kan ha en stressökande effekt. Likaså kan fönster mot omgivningen öka oron om de utrymmande människorna kan se räddningsarbetet. Alla nämnda stressökande faktorerna kan leda till att panik utbryter, men panik är dock relativt ovanligt vid katastrofscenarier enligt experter [49].
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*
Kommunikationsmöjligheter, från räddningstjänsten på markplan till utrymmande personer i trapphuset, kan underlätta utrymningen och minska benägenheten till stress. Rätt dimensionerande trapphus, eller fler antal trapphus, kan göra att trängsel inte uppstår i samma utsträckning. Inrymningszoner kan finnas för att utrymmande personer från de övre våningsplanen inte ska behöva ta sig ner alla våningar för att nå säker flyktplats [11], [14, kap 2, 3]. En vidtagen åtgärd är en ventilationslucka som ska finnas i trapphuset, där eventuell rök kan vädras ut [27].

XII. Vad händer om utrymning ska ske av handikappade och äldre?

- *Konsekvenser:*
Takten i trapphuset bestäms av den långsammaste personen. Det kan då uppstå stress hos de övriga utrymmande. Äldre personer och handikappade kanske inte har möjlighet att ta sig via trapphuset till det fria och de kan då bli kvar på brandutsatt våning. Om det finns en brandhiss att tillgå kan evakuering av dessa personer ske med hjälp av räddningsmanskapat.
- *Möjliga orsaker:*
Äldre och handikappade personer har ofta svårt att gå i trappor. De kan vara rullstolsbundna, vilket försvårar eller förhindrar att dessa personer kan utrymma via trapphuset.
- *Vidtagna eller rekommenderade åtgärder:*
En brandhiss kan finnas för att handikappade och äldre ska ha en rimlig chans att undsättas från fara om brand uppstår. Inrymningszoner kan upprättas så att de personer, som bara har möjlighet att gå en bit i trapporna, inte behöver ta sig ner hela vägen ut för att nå säker flyktplats [11].

What if?-analysen ger svar på vad som kan inträffa i den höga byggnaden, vilka konsekvenser som det inträffade kan leda till, samt vilka åtgärder som kan reducera risken. Däremot talar analysen inte om hur troligt det är att konsekvenserna inträffar och därför är det svårt att avgöra vilka faktorer som påverkar risken i byggnaden mest. Var och en av händelserna som inträffar kan ge stora konsekvenser enligt what if?-analysen och det är svårt att värdera resultatet, t ex vilka skyddssystem som bör finnas i byggnaden. Därför analyseras händelserna vidare med hjälp av en händelseträdsanalys som kan beskriva risken kvantitativt. I en händelseträdsanalys ingår sannolikheter och konsekvenser och den kan ge svar på hur mycket de olika händelserna påverkar risken. Om resultatet av händelseträdsanalysen visar att risken är hög i byggnaden måste några åtgärder genomföras, t ex installation av något eller några skyddssystem.

Majoritet av händelserna i what if?-analysen ingår senare i händelseträdsanalysen. Punkten som behandlar säkerheten under byggtiden är inte med, då den inte ryms inom ramen för arbetet. Analysen behandlar heller inte åska eller isbildning. Dessa riskkällor bör ändå beaktas för att tillfredsställa säkerheten, men de riskkällorna kan åtgärdas var och en för sig.

5.5 Händelseträdsanalys

5.5.1 Riskanalysmetod

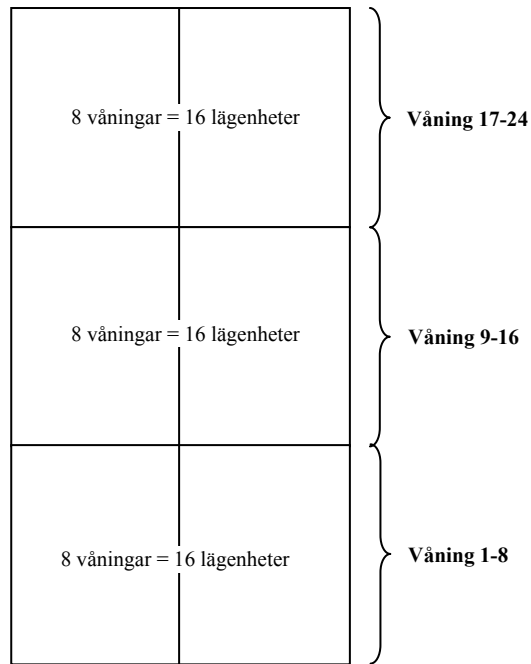
Risken för byggnaden kan beräknas med en kvantitativ riskanalysmetod. Tillvägagångssättet för metoden beskrivs i detta delkapitel för att sedan tillämpas i kapitel 5.5.2-5.5.5. I riskanalysmetoden används en händelseträdsanalys. Initialhändelsen i händelseträdet är att brand utbryter i en lägenhet. Därefter kan flera händelser inträffa som påverkar personerna i byggnaden. Händelserna bildar ett händelseträd som ger upphov till en mängd scenarier och med hjälp av dessa scenarier kan risken bestämmas. Varje scenario tilldelas en beräknad slutkonsekvens och en slutfrekvens och risken beräknas för händelseträdet, d v s för initialhändelsen som är brand uppstår i *en* lägenhet.

Byggnaden består av 24 våningar med totalt 48 lägenheter. Det finns risk för att brand ska uppstå i varje lägenhet och därför upprepas proceduren ovan för brand i varje lägenhet. Risken är olika stor för de 48 lägenheterna ty slutkonsekvens och slutfrekvens för scenarierna ändras beroende av vilken våning branden utbryter på. (t ex är det svårare för räddningstjänsten att utföra en insats på en högt belägen våning och risken blir då större för de övre våningarna jämfört med de lägre). När risken har bestämts för alla 48 lägenheterna kan de summeras för att erhålla risken för hela byggnaden.

För att beräkningarna ska bli enklare att utföra görs en förenkling. Byggnaden delas upp i tre delar och för varje lägenhet inom samma del antas slutkonsekvens samt slutfrekvens vara lika stora, se figur 5.2 som åskådliggör de tre delarna. Delarna utgörs av:

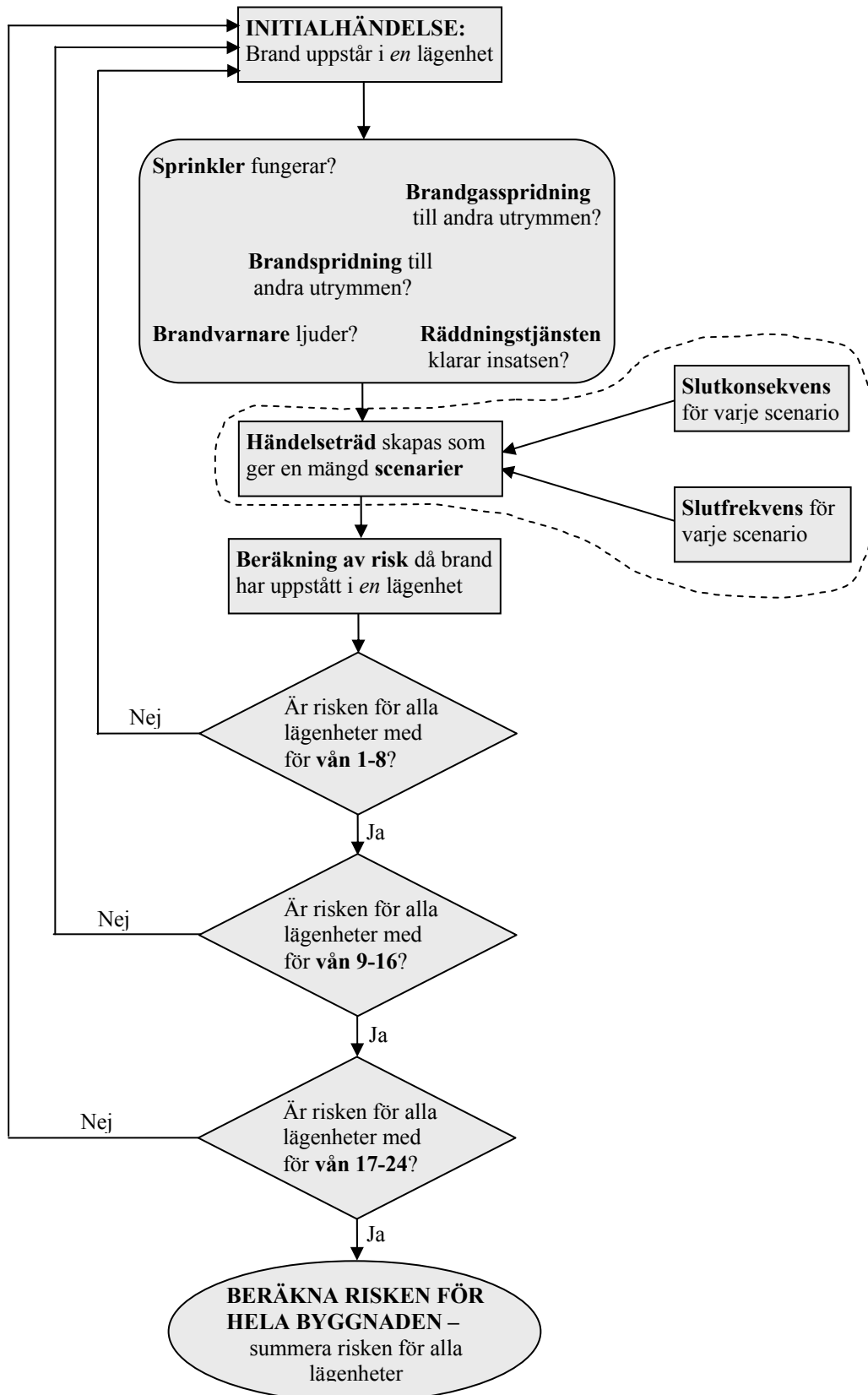
- ✦ Våning 1-8
- ✦ Våning 9-16
- ✦ Våning 17-24

Varje del består av 8 våningar och 16 lägenheter (två lägenheter per våning).



Figur 5-2 Byggnaden delas upp i tre delar för att förenkla beräkningarna över risken.

Beräkningsgången som beskrivs ovan kan demonstreras i ett flödesdiagram för att underlätta förståelsen för riskanalysmetoden. Flödesdiagrammet presenteras i figur 5.3.

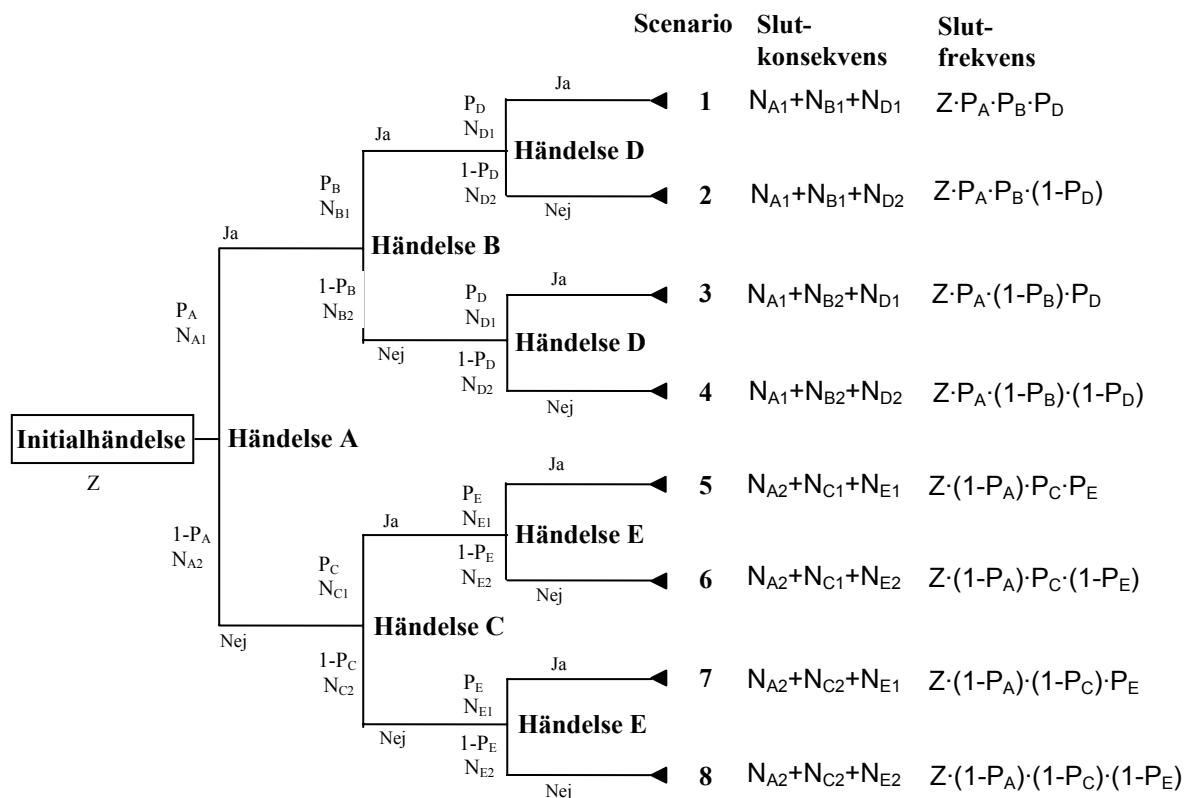


Figur 5-3 Tillvägagångssättet för hur risken bestäms för hela den höga byggnaden.

Det streckade området i figur 5.3 visar de tre beståndsdelar som används för att bestämma risken för situationen då brand uppstår i en lägenhet. Ett händelsetråd skapas som ger upphov till en mängd scenarier. För varje scenario bestäms slutfrekvens (Z) och slutkonsekvens (N)

och genom de parametrarna kan risken för händelseträdet bestämmas. När slutfrekvensen för ett scenario ska beräknas används sannolikheter och frekvens för de händelser som ingår i scenariet. Dessa multipliceras med varandra för att erhålla slutfrekvensen för ett scenario. Även slutkonsekvensen beräknas genom att se vilka händelser som ingår i scenariet, men konsekvenserna för varje händelse adderas.

Figur 5.4 åskådliggör ett exempel på ett händelsetråd med beräkningsgången av slutkonsekvens och slutfrekvens som beskrivits ovan. Först ingår en initialhändelse med frekvensen Z . Händelserna som ingår i händelseträdet är händelse A-E och de har olika sannolikheter (P) och konsekvenser (N). För varje scenario bestäms slutkonsekvensen och slutfrekvensen med hjälp av de ingående händelserna och därefter kan risken bestämmas.



Figur 5-4 Beräkningsgången för en händelseträdsanalys.

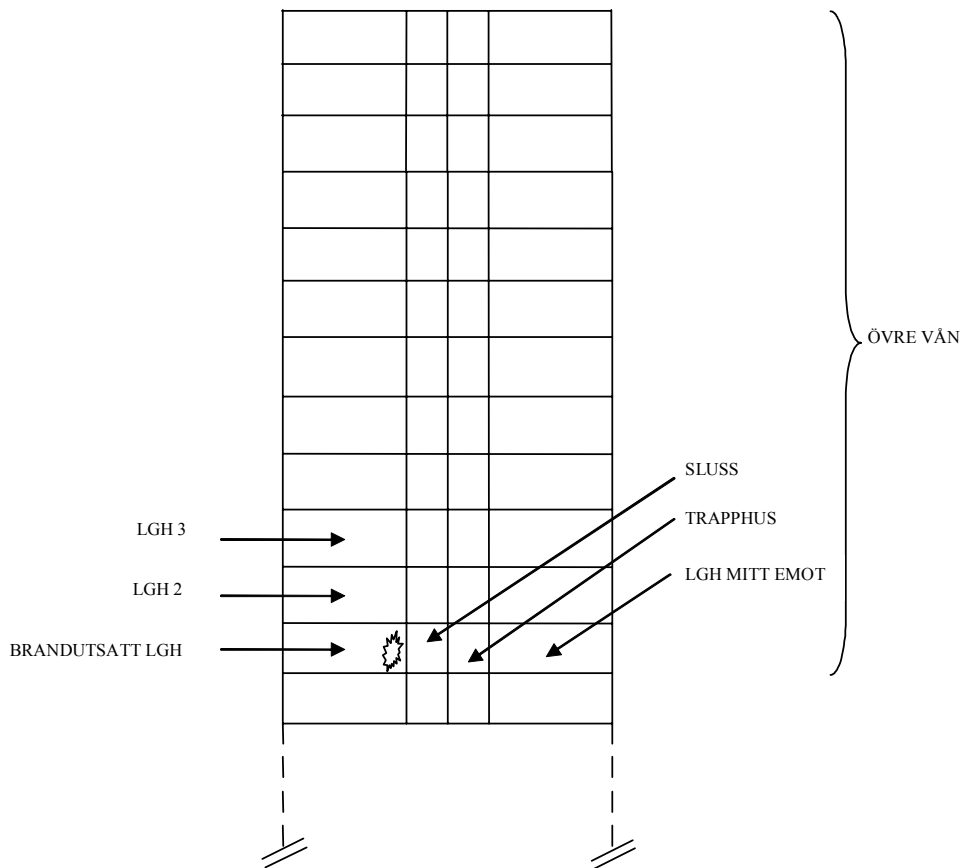
I följande kapitel (5.5.2) bestäms de ingående händelserna i händelseträdet. Därefter bestäms de ingående händelsernas sannolikheter och konsekvenser (kap 5.5.3-5.5.4). När händelserna är definierade med avseende på konsekvens och sannolikhet kan scenariernas slutfrekvenser och slutkonsekvenser bestämmas och risken kan beräknas (kap 5.5.5). Det sistnämnda kapitlet behandlar även hur risken bestäms för hela byggnaden.

5.5.2 Ingående händelser i händelseträdet

What if?-analysen ger svar på hur fristående händelser kan påverka riskbilden i en hög byggnad. Flera av de oplanerade händelserna innebär att skyddssystem inte fyller sin funktion och dessa kan inträffa samtidigt (vilket inte beskrivs i what if?-analysen). För att få en helhetsbild över riskbilden i Rumlaborg, används en händelseträdsanalys (beskrivning av

metoden sker i kap 5.5.1), vilket ger en bild över vilka olika kombinationer av händelser som en lägenhetsbrand kan leda till.

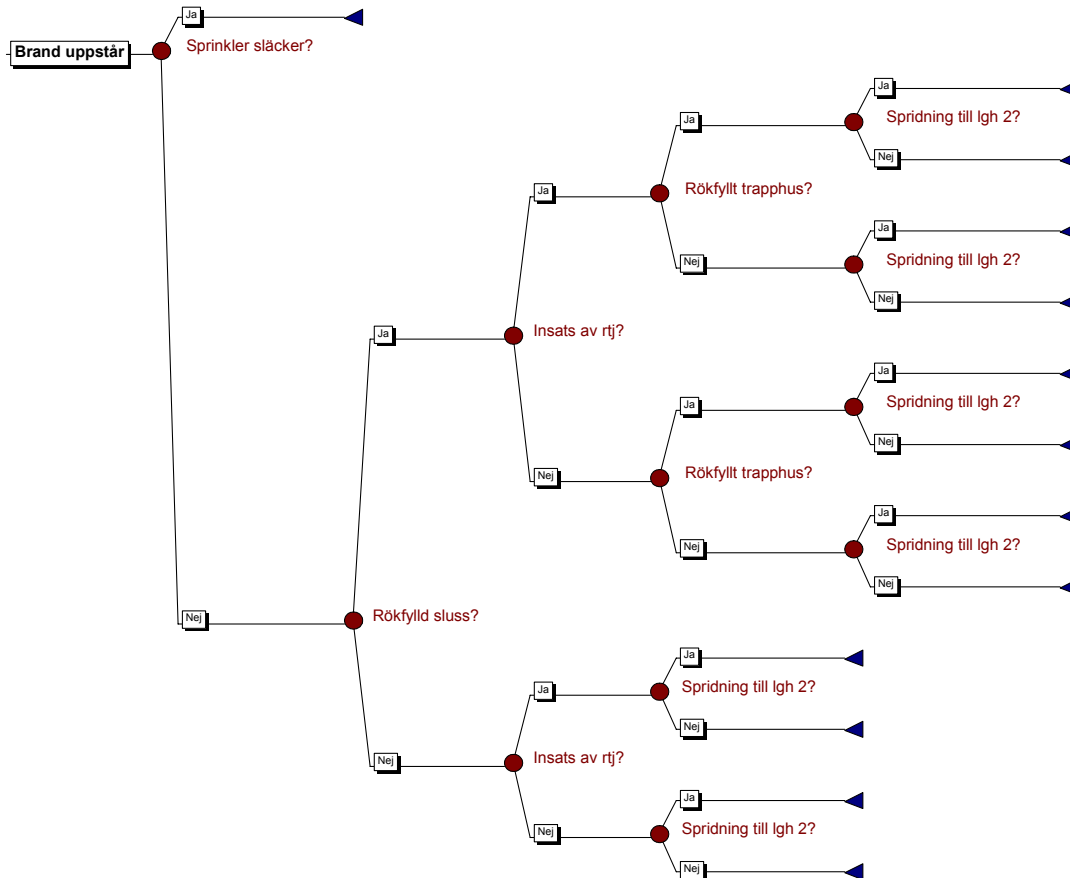
I analysen ingår händelser som påverkar eller är avgörande för utrymningsförloppet, d v s de boendes säkerhet. Den ger bl a svar på vad som händer när brand och brandgaser sprider sig i byggnaden och på hur personernas utrymningsvägar i och med detta blockeras, samt hur räddningstjänstens insats påverkar förloppet. De fristående faktorerna (från what if?-analysen) kommer alltså inte att ingå som händelser i trädet, utan de kommer endast att bidra till vilka händelser som kan inträffa och utgör därmed deras orsaker. I analysen sprids brand- och brandgaser till olika utrymmen i byggnaden. Utrymmena definieras i figur 5.5.



Figur 5-5 Byggnadens övre del i genomkärning, som visar vilka utrymmen som påverkas av branden (LGH= lägenhet, VÅN= våningar).

Händelseträdet är uppbyggt enligt följande: Utgångspunkten är en initialhändelse som inträffar, d v s brand uppstår i en lägenhet. Därefter följer de olika händelserna som påverkar utrymningsförloppet och de undersöks med avseende på konsekvenser och sannolikheter. Händelserna som ingår i händelseträdet ger upphov till olika scenarier med slutkonsekvenser och slutfrekvenser. Därefter kan risken beräknas för personerna i byggnaden.

Händelseträdet består i sin helhet av ca 400 scenarier (men reduceras senare till 61 scenarier). Det är inte möjligt att ge en överskådlig bild över händelseträdet i rapporten. För att få en uppfattning av hur det ser ut presenteras en förenklad version av trädet, där de händelser ingår som beskriver och påverkar brandförloppet, se figur 5.6.



Figur 5-6 Förenklat händelsetråd då brand uppstår, med de parametrar som påverkar brandförloppet.

För att pedagogiskt kunna beskriva hela händelseträdet utförs en redogörelse för hur förloppet sker i byggnaden då brand uppstår i en lägenhet. Därefter anges alla de händelser som ingår i händelseträdet och de ställs upp i kronologisk ordning, se figur 5.7. Utgångspunkten är det förenklade trädet men sedan tillkommer några händelser.

Förloppet som påverkar utrymningsituationen:

De utrymmen som nämns under förloppet åskådliggörs i figur 5.5. Förloppets initialhändelse är att brand uppstår i en lägenhet. Utrymningsförloppet för personerna i den lägenheten påverkas av om brandvarnaren ljuder inom rimlig tid. Eftersom sprinkler finns i byggnaden kommer förloppet även att påverkas av om den begränsar eller släcker branden. Det finns möjlighet att brandgaser sprider sig ut till slussen på våningen vid den brandutsatta lägenheten. Om branden inte släcks av sprinklern, krävs en insats av räddningstjänsten. Då räddningsstyrkan inte lyckas, kan brandgaserna fortsätta att sprida sig till olika utrymmen, t ex till trapphuset. Det påverkar utrymningsförloppet för alla som evakuerar eftersom det endast finns ett trapphus. Horisontell brandgasspridning kan ske till lägenheten mitt emot om det finns rök i slussen.

Läget kan förvärras ytterligare genom att branden sprider sig till lägenheten ovan, lägenhet 2, om räddningstjänsten inte klarar insatsen. Då påverkas evakueringen bl a av om brandvarnaren i den lägenheten ljuder. Det finns möjlighet att brandgaser sprider sig till trapphuset, från lägenhet 2 istället. Vertikal brandgasspridning kan rökfylla de övre våningarna. Om räddningsmanskapat inte har lyckats tidigare med insatsen har de chans att

klara insatsen efter en tid. Men lyckas de inte då heller kan branden sprida sig vidare till lägenhet 3. Precis som innan påverkas de boende, i den lägenheten, av om brandvarnaren ljuder. Från lägenhet 3 kan brandgaser nå trapphuset och det blockeras då för vidare evakuering. En tid har förflutit sedan brandens begynnelse och räddningstjänsten kan klara insatsen vid denna tid. Om de inte kan kontrollera branden, står tre våningar i lågor och det är resurskrävande för räddningstjänsten. Analysen fortsätter inte längre, eftersom osäkerheterna blir stora över vad som kan inträffa och över vilka konsekvenser som kan följa. Dessutom blir risktillskottet väldigt litet för en fortsättning (visar analysen som genomförs i de följande kapitlen).



- | | |
|---|---|
| 2. BRANDVARNARE LJUDER INOM RIMLIG TID? | 10. BRANDGASER BLOCKERAR TRAPPHUSET SENARE? |
| 3. SPRINKLER BEGRÄNSAR ELLER SLÄCKER BRANDEN? | 11. BRANDGASSPRIDNING SKER TILL DE ÖVRE VÅNINGARNA? |
| 4. BRANDGASSPRIDNING SKER TILL SLUSS? | 12. RÄDDNINGSTJÄNSTEN KLARAR INSATSEN? |
| 5. RÄDDNINGSTJÄNSTEN KLARAR INSATSEN? | 13. BRANDSPRIDNING TILL LGH 3? |
| 6. BRANDGASER BLOCKERAR TRAPPHUSET? | 14. BRANDVARNARE LJUDER INOM RIMLIG TID? |
| 7. BRANDGASSPRIDNING TILL LGH MITT EMOT? | 15. BRANDGASER BLOCKERAR TRAPPHUSET SENARE? |
| 8. BRANDSPRIDNING TILL LGH 2? | 16. RÄDDNINGSTJÄNSTEN KLARAR INSATSEN? |
| 9. BRANDVARNARE LJUDER INOM RIMLIG TID? | |

Figur 5-7 De händelser som ingår i händelseträdet i kronologisk ordning (LGH= lägenhet).

Som syns i figur 5.7 upprepar sig vissa händelser, t ex när branden sprider sig till lägenhet 2 och 3 följer sedan händelserna om brandvarnare, trapphus och insats av räddningstjänsten igen. Av de olika händelser, som ingår i händelseträdet, görs en utförlig beskrivning. Där anges definitioner och hur de påverkar utrymningsförloppet. De utrymmen i byggnaden som nämns åskådliggörs i figur 5.5.

1. Brand uppstår i lägenhet.

Det är initialhändelsen och är en förutsättning för de följande händelserna ska kunna inträffa. Branden antas inte självslockna eller släckas av någon person (innan räddningstjänsten når dit).

2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?

Om brandvarnaren i den brandutsatta lägenheten ljuder inom rimlig tid eller ej kan avgöra hur snabbt branden detekteras. En snabb detektion kan påverka när evakueringen startar och även hur snabbt räddningstjänsten larmas, speciellt om sprinklern inte fungerar (då skickas inte något automatiskt larm till räddningstjänsten). Rimlig tid antas vara den tid innan kritiska förhållanden uppstår i lägenheten, minus en tidsmarginal så att utrymning hinner ske. Tiden beror av var branden startar, var personerna befinner sig och var

brandvarnaren finns utplacerad. Om brandvarnaren ljuder eller ej påverkar endast de personer som befinner sig i den brandutsatta lägenheten.

3. *Sprinkler begränsar eller släcker branden?*

Om sprinkler finns och fungerar minskar risken för personerna i byggnaden genom att förlänga tiden till (eller undvika) att kritiska förhållanden uppstår [7, kap 6.3]. Det finns då goda möjligheter att alla hinner utrymma innan det sker. Då branden släcks eller begränsas av sprinklern antas det vara en sluthändelse i händelseträdet, d v s de resterande händelserna (4-16) kan inte inträffa. Om sprinklern inte släcker eller begränsar branden kan brand- och brandgasspridning inträffa i byggnaden. Det krävs då en insats av räddningstjänsten. Då sprinklern inte fungerar uteblir den automatiska larmöverföringen till räddningstjänsten.

4. *Brandgasspridning sker till sluss?*

Brandgasspridning kan ske till slussen om branden inte släcks i ett initialt skede. Det kan uppstå kritiska förhållanden relativt fort i slussen, visar resultaten av en rökfyllnadsberäkning som redovisas i appendix E. Utrymning till trapphuset (som utgör den enda utrymningsvägen för de boende) kan då försvåras eller förhindras för personerna på det brandutsatta våningsplanet. Utrymningsstrategin är att endast evakuering sker från brandutsatt lägenhet och därav finns inget utrymningslarm utan endast brandvarnare i varje lägenhet. Om brandgaserna når in i lägenheten mitt emot kan personerna där inte undkomma, då deras enda utrymningsväg är blockerad. Horisontell brandgasspridning är vanligt och kan ske snabbt i höga, moderna byggnader [50, kap 1.2]. Brandspridning till slussen antas dock inte ske då den ska vara fri från brännbart material [2].

5. *Räddningstjänsten klarar insatsen?*

Om de inbyggda skyddssystemen inte fyller sina funktioner behövs det hjälp från räddningspersonalen. I fallet då branden inte släcks eller begränsas av sprinklern, är det av största vikt att räddningstjänsten kan göra en effektiv insats vad gäller släckarbete och hjälp med evakuering. De ska minimera risken att branden sprider sig. Utbryter branden på hög höjd är det svårt för personalen att göra en effektiv insats. Räddningstjänsten har svårare att kontrollera vertikal spridning i en hög byggnad än i en låg. När de ej brandutsatt våning inom rimlig tid i ett initialt skede av brandförloppet eller inte har tillräcklig vattenförsörjning kan branden växa sig stor och spridning kan ske till andra delar av byggnaden. Det visar erfarenheten av tidigare bränder i höga byggnader [22], [23], [24], [25]. Det är viktigt att räddningsmanskaper når det brandutsatta våningsplanet snabbt, då brandspridning till lägenheten ovan kan ske snabbt [50, kap 1.2]. Om räddningstjänsten klarar insatsen, innebär det att fortsatt brand- och brandgasspridning förhindras och det resulterar därför i en sluthändelse.

För att bedöma tiden det tar innan branden sprider sig till lägenheten ovan, definieras de faktorer som gör detta möjligt. En brand som inte slocknar eller släcks kommer leda till övertändning och lågorna slår då ut genom fönsterna. Därefter nås fönsterna i lägenheten ovan av lågorna via fasaden. Efter en tid bryter de igenom och branden sprider sig till lägenheten ovan. Tiden till övertändning beräknas vara ca 5 minuter, enligt simuleringar i FAST som redovisas i appendix E. Den tid som det tar för lågorna att bryta igenom fönstret till lägenheten ovan bedöms vara ca 7 minuter, och det grundas på fullskaleexperiment som gjorts tidigare på Brandteknik i Lund [34], [35]. Detta innebär att räddningstjänsten måste påbörja insatsen inom 12 minuter från brandens uppkomst. Om de inte lyckas med det kan branden sprida sig till lägenhet 2.

6. *Brandgaser blockerar trapphuset?*

En förutsättning för att brandgaser ska blockera trapphuset är att det skett spridning till slussen tidigare, eftersom brandgaserna från lägenheten når trapphuset via slussen (i händelseträdet finns den här händelsen med endast i de grenar där brandgasspridning har skett till slussen). Om trapphuset fylls med brandgaser försvåras eller förhindras utrymningen, speciellt av de våningsplanen som ligger ovan den brandutsatta lägenheten. Om byggnaden, som i detta fall endast har en utrymningsväg ökar risken ytterligare för att utrymning försvåras eftersom alla måste ta samma väg ut. Trängsel och brandgaser i trapphuset där personer utrymmer kan lätt orsaka stress. Om brandgaser blockerar trapphuset antas det innebära att kritiska förhållanden uppstår. Det gäller inte för hela trapphuset, men beroende av brandgasernas stigningskraft, ansamlas de på en viss höjd och där kan kritiska förhållanden uppstå [50, kap 3.1, 5.3]. I lägre byggnader kan det finnas möjlighet att evakuera utvändigt och eventuellt kan vissa personer som behöver hjälp akut räddas med hjälp av räddningstjänstens stegutrustning.

Om spridning till trapphuset sker behövs hjälp från räddningstjänsten för att fortsatt evakuering ska kunna ske, vilket kan innebära brandgasventilation av trapphuset och släckning av branden som producerar brandgaserna.

7. *Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?*

I fallet då branden inte släcks av sprinkler eller räddningstjänsten och brandgaserna når slussen, finns det en risk att brandgaserna sprider sig till lägenheten mitt emot den brandutsatta lägenheten (i händelseträdet finns den här händelsen endast med i de grenar då brandgasspridning har skett till slussen). Om brandgaserna sprider sig till lägenheten mitt emot antas personerna i den lägenheten förhindras att utrymma eftersom brandgaser redan har nått slussen. Slussen kan snabbt fyllas av brandgaser [14, kap 1.1, 2.3]. Det visar appendix E där FAST-simuleringar presenteras. I analysen studeras spridning till ”lägenhet mitt emot” endast på den våningen där branden utbryter. Avgränsningen görs för att analysen inte ska bli för komplex.

8. *Brandspridning sker till lägenhet 2?*

Brandspridning till lägenhet 2 kan ske via fönster och fasad eller genom bjälklag. En förutsättning för att brandspridningen ska kunna ske är att räddningstjänsten inte gör en effektiv insats. Vertikal, utvändigt spridning via fönster och fasad är ett stort problem som måste beaktas vid höga byggnader [14, kap 1.5]. Det är svårt för räddningstjänsten att kontrollera detta om branden uppstår på en hög höjd, då deras stegutrustning inte når dit. För räddningstjänsten inte kontroll på branden befinner sig alla ovanliggande våningar i farozonen. I lägre byggnader finns lättare möjlighet att göra en insats från utsidan och de når oftast snabbare brandutsatt våning invändigt.

9. *Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?*

När branden har spridit sig till lägenhet 2 påverkas de boende i den lägenheten av om brandvarnaren ljuder inom rimlig tid (i händelseträdet finns den här händelsen endast med i de grenar då brandspridning har skett till lägenhet 2). Personerna i lägenheten har större chans att hinna utrymma om brandvarnaren ljuder.

10. *Brandgaser blockerar trapphuset senare?*

Om brandgaser inte har blockerat trapphuset i ett tidigare skede kan det istället ske senare via lägenhet 2, efter att brandspridning har inträffat till den lägenheten (i händelseträdet finns den här händelsen endast då brandspridning har inträffat till lägenhet 2).

11. Brandgasspridning sker till de övre våningarna?

Brandgaser kan snabbt sprida sig till andra våningsplan, framförallt i höga hus och det kan ske genom vertikala öppningar, trots tillfredsställd brandcellsindelning [14, kap 10], [50, kap 1.2]. Brandgaserna kan sprida sig till utrymmen som ligger långt borta från brandhärden. Ett exempel på att det kan ske, är en brand som inträffade i ett 26 våningar högt hotell i Las Vegas. Där befann sig alla 61 personer som dog, i byggnadens övre halva. Förutsättningarna var inte samma som för Rumlaborg, men exemplet demonstrerar att brandgasspridning kan inträffa i enorm skala [50, kap 1.2].

Antalet våningsplan som brandgaser sprider sig till beror på tryckförhållandet i en byggand. De våningar som befinner sig där trycket i huset är positivt, dvs ovan neutralplanet, kan rökfyllas. Nivån på neutralplanet ligger inte alltid i mitten av byggnaden utan höjden bestäms av tryckbilderna, som påverkas av bl a temperatur, vind och skorstenseffekt. Potentialen till skorstenseffekten beror av två faktorer: (1) skillnad i temperatur mellan brandgaser och uteluft och (2) höjden på byggnaden. Kraften av skorstenseffekten kan antas vara linjärt ökande med avseende på höjden av byggnaden [50, kap 4.3]. För att definiera hur många våningar som spridning av brandgaser sker till görs antagandet att neutralplanet ligger på hälften av byggnadens höjd vilket resulterar i 12 våningar.

12. Räddningstjänsten klarar insatsen?

Även om räddningstjänsten inte lyckas med insatsen till en början (punkt 5) har de ändå möjlighet att lösa problemen för att klara av insatsen efter en tid, innan branden sprider sig vidare till lägenhet 3. Brandspridning till lägenhet 3 bedöms ta lite kortare tid än till lägenhet 2 eftersom branden är kraftigt utvecklad. Det antas ske vid ca 22 minuter från brandens begynnelse. Om räddningsstyrkan klarar insatsen resulterar det i en sluthändelse, dvs de resterande händelserna kan inte inträffa.

13. Brandspridning sker till lägenhet 3?

Om brandspridning sker till lägenhet 2 och räddningstjänsten inte klarar insatsen inom 22 minuter, kan branden sprida sig till ytterligare en lägenhet ovan, lägenhet 3. Räddningstjänsten möter stora problem då tre våningar brinner. Att kontrollera en brand på tre våningar är svårt anser de personer som tillfrågats angående problemet [63], [64], [66]. I amerikansk litteratur anges tre våningar som det maximala antalet som räddningstjänsten kan klara av (då bärverket består av stål) [65]. Bärverket i Rumlaborg ska bestå av betong och det antas klara av branden under den tid som analysen omfattar. I Sverige finns det inte lika stora personalresurser att tillgå som det oftast finns i USA vid en brand i en hög byggnad [15]. I analysen studeras inte brandspridning till fler än tre lägenheter. Därefter är osäkerheten stor för vad som kan inträffa. Ytterligare ett argument till att inte studera fler är att risktillskottet för varje våning branden sprider sig till efter det är så litet att det kan försummas (dvs sannolikheten för slutscenarierna minskar för varje våning som ingår och det blir försumbart i sammanhanget). Detta visar analysen som presenteras i de följande avsnitten.

14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?

När branden har spridit sig till lägenhet 3 påverkas människorna i den lägenheten av om brandvarnaren ljuder inom rimlig tid (i händelseträdet finns den här händelsen endast med i de grenar då brandspridning har skett till lägenhet 3). Personerna i lägenheten har större chans att hinna utrymma om brandvarnaren ljuder.

15. Brandgaser blockerar trapphuset senare?

Om brandgaser inte blockerat trapphuset tidigare kan det istället ske senare via lägenhet 3, efter att brandspridning har inträffat till den lägenheten (i händelseträdet finns den här händelsen endast då brandspridning har inträffat till lägenhet 3).

16. Räddningstjänsten klarar insatsen?

Om räddningsmanskaper inte lyckas med insatsen tidigare finns ytterligare en chans till att de klarar insatsen, innan branden sprider sig till ännu en våning ovan. Brandspridning till ytterligare en lägenhet ovan antas ske vid ungefär 32 minuter. Det är svårt för räddningstjänsten att klara både en livräddande insats och en släckinsats när tre våningar står i lågor. Antagandet grundas på en diskussion med personal från räddningstjänsten [64].

I ett sent skede av brandförloppet, d v s om räddningstjänsten ej lyckas med insatsen, finns det risk för att bärverket ska kollapsa. Detta medför att personalen utsätts för fara om de fortsätter arbetet med att bekämpa branden. Bärverket utgörs av betong och antas därmed klara påfrestningarna under den tiden som analysen pågår. Om byggnadens bärverk istället till huvuddelen hade bestått av stål, skulle analysen eventuellt varit tvungen att ta hänsyn till bärförmågan, då stål snabbt förlorar bärförmågan om den utsätts för höga temperaturer under lång tid [65].

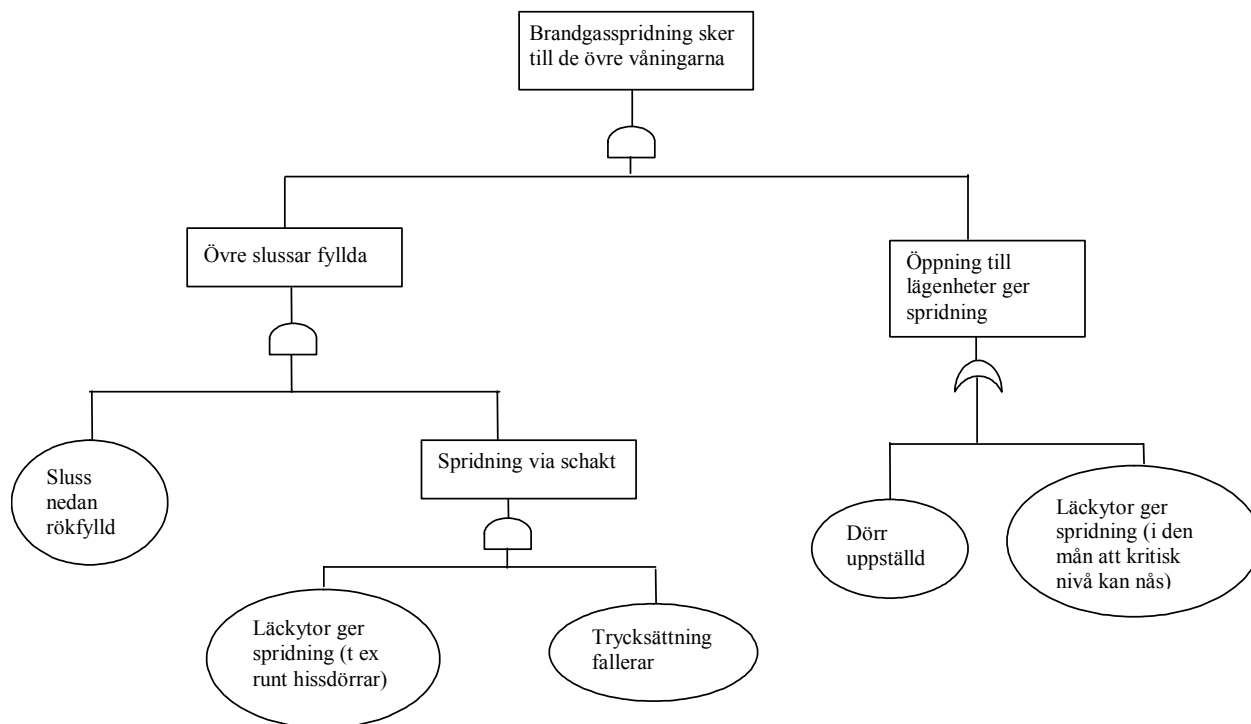
Den här händelsen är den sista i händelseträdet. Risktillskottet är litet för brandspridning till fler lägenheter och osäkerheten är stor över vad som kan inträffa då insatspersonalen inte har kontroll över branden på tre våningar.

De ovan beskrivna händelserna (16 stycken) ingår i händelseträdet och bildar scenarier. För att kunna beräkna slutfrekvensen och slutkonsekvensen för varje scenario krävs en bestämning av sannolikheter och konsekvenser för alla ingående händelser. Dessa fastställs i kapitel 5.5.3 och 5.5.4.

5.5.3 Bestämning av sannolikheter

Sannolikheterna för de 16 händelserna används för att bestämma slutfrekvenserna för scenarierna i händelseträdet. För ett fåtal händelser kan sannolikheterna erhållas främst genom svensk och utländsk statistik. Det gäller för ”brand uppstår i lägenhet”, ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid” och ”sprinkler begränsar eller släcker branden”.

Några av händelserna kan istället härledas fram ur deras orsaker. För att få en bild av hur orsakerna hör ihop och för att kunna räkna ut sannolikheter för händelserna används felträdsanalys. Varje händelse utgör då topphändelsen i felträdet (förutom för händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”, där topphändelsen utgörs av ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen”). Nedan åskådliggörs ett av felträden för att demonstrera tankegången. Det som presenteras är ”brandgasspridning sker till de övre våningarna”. De resterande felträden finns i appendix B. Även ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid” och ”sprinkler begränsar eller släcker branden” finns med som felträd, även om de räknas ut med hjälp av statistik, eftersom orsakerna som beskrivs i felträdet används i avsnittet för what if?-analysen och i åtgärdsavsnittet.



Figur 5-8 Felträd som beskriver orsakerna till att brandgasspridning kan ske till de övre våningarna.

För att beräkna sannolikheten för en topphändelse används sannolikheterna för alla bashändelserna. Vid beräkningen används räkneregler för felträdsanalys, se kapitel 4.2.3.

Vissa sannolikheter varierar beroende av vilken våning det brinner på. Det gäller för några av orsakerna till att räddningstjänsten inte gör en effektiv insats. Istället för att göra beräkningar för varje enskild våning delas byggnaden upp i tre delar, våning 1-8, våning 9-16 och våning 17-24 (se kap 5.5.2 som beskriver resonemanget utförligt). För varje del bestående av åtta våningar antas sannolikheterna vara samma och de representeras av medelvärden för respektive del. Valet av tre delar motiveras av att upp till 8 våningar har räddningstjänsten oftast inte några större problem med insatsen för höjdens skull. Det föll sig naturligt att göra två uppdelningar till av byggnaden, då det kan förväntas vara mer problem med insats i byggnadens övre del jämfört med mittendelen.

Sannolikheterna som tas fram används senare som underlag tillsammans med konsekvenserna för att framställa F/N-diagram. F/N-diagram ger resultat över risknivån för bygganden. Dessa diagram görs med avseende på vilka skyddssystem som ingår i bygganden. Risknivån studeras om någon eller några av dessa system utesluts och det gäller sprinkler, brandhiss och trycksättning, som anses vara särskilt viktiga för säkerheten i en hög byggnad. Detta medför att sannolikheterna som beräknas för de 16 händelserna, anges både för om skyddssystemen finns och för om de inte finns. Beräkningsgången för de olika sannolikheterna redovisas i appendix C.

De värden som bestäms genom statistik och de siffror som baseras på antaganden, är avsedda att spegla förutsättningarna för byggnaden, men de är grundade på författarens omdöme och utgör därmed inte den absoluta sanningen. Det är metoden av analysen som ska framhävas och risktolkningen genomförs därför framförallt som en jämförelse mellan olika höjder på byggnader och olika skyddssystem. Detta är viktigt att bära med sig när värderingen av risken

genomförs och även i framtiden om metoden appliceras på en byggnad med andra förutsättningar. De utrymmen i byggnaden som nämns åskådliggörs i figur 5.5.

Tre av händelserna i händelseträdet kan bestämmas *utan* hjälp av felträd.

1. **Brand uppstår i lägenhet:**

- ✘ Antal bränder per lägenhet och år i flerbostadshus. Medelvärde i Sverige, 1996-1998 [39], [40].

Z = $1.50 \cdot 10^{-3}$ bränder per lägenhet och år

- ✘ Brand släcks ej manuellt och slocknar ej. Medelvärde i Sverige, 1996-1999 [39], [40].
P = 0.59

$$\Rightarrow Z_1 = 8.9 \cdot 10^{-4} \text{ bränder per lägenhet och år}$$

2. **Brandvarnare ljuder inom rimlig tid:**

- ✘ Brandvarnare finns i lägenheterna (installeras i ett initialt skede) [27].

P = 1

- ✘ Andelen brandvarnare som antas vara felmonterade (t ex felplacerade). 10 % antas.

P = 0.10

- ✘ Andelen brandvarnare som efter en längre tid antas ha blivit nermonterade. 10 % antas även för den parametern.

P = 0.10

- ✘ Andelen som fungerar, vid test av brandvarnare som finns. Andelen är 90 % enligt statistik [46].

P = 0.90

$$\Rightarrow P_2 = 0.73$$

3. **Sprinkler begränsar eller släcker branden:**

Sprinkler finns

- ✘ För sprinklernas tillförlitlighet används ett konservativt värde (det inte är klart vilken typ av sprinkler som ska ingå i byggnaden) [9].

P = 0.95

$$\Rightarrow P_3 = 0.95$$

Sprinkler finns ej

$$\Rightarrow P_3 = 0$$

Sannolikheten för resterande händelser i händelseträdet bestäms utifrån felträden, som presenteras i appendix B. Händelserna motsvarar topphändelserna och beräknas med hjälp av de respektive bashändelserna i träden. För utförliga beräkningar se appendix C. Nedan anges topphändelser och deras bashändelser.

4. *Brandgasspridning sker till sluss (se felträd i appendix B.3):*

- ✘ Dörr från lägenhet till sluss står uppställd. Det antas ske 1 dag per år.

$$P_A = 3.0 \cdot 10^{-3}$$

- ✘ Självstängare felar (då personer utrymmer från lägenheten) [9].

$$P_B = 0.10$$

- ✘ Läckor och dörr i väggkonstruktion ger brandgasspridning. Värdet antas efter bedömning, utifrån gällande förutsättningar tillsammans med referensen [10, tab 1].

$$P_C = 0.15$$

- ✘ Väggkonstruktion från lägenhet till sluss ger brandgasspridning. Värdet från referensen halveras då väggen inte utsätts för brand i början av förloppet [10, tab 1].

$$P_D = 0.025$$

$$\Rightarrow P_{4,G} = 0.26$$

5. *Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 12 minuter (se felträd i appendix B.4):*

Brandhiss finns

- ✘ Brandvarnare ljuder ej inom rimlig tid. Det kan påverka tiden till upptäckt av brand och hur snabbt larm sker till räddningstjänsten. I händelseträdet finns den händelsen med som nummer 2, ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid”. Det har antingen inträffat eller inte inträffat (beroende av ja- eller nejgrenen i händelseträdet). Därför antas ett värde för när det har inträffat och ett värde för då det inte har inträffat.

$$P_A = 0 \text{ (då brandvarnaren ljuder inom rimlig tid)}$$

$$P_A = 1 \text{ (då brandvarnaren inte ljuder inom rimlig tid)}$$

- ✘ Sen visuell upptäckt av brand. Värdet från referensen halveras då det antas vara kväll (vilket definieras i kap 5.5.4) och de flesta kan förväntas vara hemma då branden utbryter [1, tab 3.3].

$$P_B = 0.05$$

- ✘ Räddningstjänsten larmas sent, trots att branden har uppmärksammats. Om personer vet att de har lång väg att utrymma prioriterar de ofta inte att larma räddningstjänsten. Värdena på variabeln antas, utifrån flera rapporter som beskriver insatser i höga byggnader [23], [24], [25].

$$P_C = 0.05 \text{ (våning 1-8)}$$

$$P_C = 0.10 \text{ (våning 9-16)}$$

$$P_C = 0.10 \text{ (våning 17-24)}$$

- ✘ Sprinkler fallerar. Då sprinklern inte utlöser skickas heller inget automatiskt larm till räddningstjänsten.

$$P_D = 1$$

- ✘ Larmöverföring från sprinklern uteblir. Antas vara liten i sammanhanget och saknar betydelse då sprinklern fallerar.

$$P_E = \text{försumbar}$$

- ✘ Branden startar för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värdet varierar mellan de olika våningarna. Det kan ta lång tid för personalen att nå en brandutsatt lägenhet, i en hög byggnad, speciellt om det erfordras andningsmask [50, kap 6.3].

$$P_F = 0.01 \text{ (våning 1-8)}$$

$$P_F = 0.60 \text{ (våning 9-16)}$$

$$P_F = 0.80 \text{ (våning 17-24)}$$

- ✘ Trapphuset blockeras av människor. Ju fler människor som utrymmer desto större problem får räddningstjänsten att göra en insats via trapphuset. Innebörden är främst

att personalen uppehålls av de utrymmande, som behöver hjälp eller ställer frågor. Det kan även bli trångt i trapphuset. Värden antas [44].

$P_G = 0.05$ (våning 1-8)

$P_G = 0.10$ (våning 9-16)

$P_G = 0.15$ (våning 17-24)

✘ Brandhiss är ur funktion. Värde bedöms efter kontakt med en specialist på hissar [67].

$P_H = 0.01$

✘ De tryckhöjande pumparna i byggnaden stoppar och det krävs då att båda pumparna stannar [26, kap 5.6]. Dessa pumpar finns i byggnaden för att på hög höjd nå erforderligt tryck på släckvattnet och det är viktigt för insatsen [11]. I byggnader som består av åtta våningar, eller färre, kan räddningstjänsten använda sin egen utrustning (pump på deras fordon), enligt Boverkets Byggregler [2]. På det viset behövs endast räddningstjänstens pump för våning 1-8.

$P_I = 0$ (våning 1-8)

$P_I = 6.0 \cdot 10^{-4}$ (våning 9-16)

$P_I = 6.0 \cdot 10^{-4}$ (våning 17-24)

✘ Otillräcklig vattenförsörjning från kommunal ledning [26, kap 5.6].

$P_J = 1.0 \cdot 10^{-3}$

✘ Komponent i systemet sönder (t ex rörbrott) [26, kap 5.6].

$P_K = \text{försumbar}$

✘ Felinställd vattenreducering har orsakat problem vid många insatser i USA [11]. Det antas ge problem i 5 fall av 100. För våning 1-8 kan räddningstjänsten använda egen utrustning istället för stigarledningarna.

$P_L = 0$ (våning 1-8)

$P_L = 0.05$ (våning 9-16)

$P_L = 0.05$ (våning 17-24)

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{5,v}$.

Våning 1-8: $P_{5,v} = 0.051$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,v} = 0.099$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Våning 9-16: $P_{5,v} = 0.15$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,v} = 0.19$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Våning 17-24: $P_{5,v} = 0.15$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,v} = 0.20$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Händelsen har olika värden beroende om brandvarnaren ljuder eller ej. Det förenklas genom att räkna ut ett viktat medelvärde mellan dessa. Det viktade medelvärdet är det som utnyttjas för vidare beräkningar i analysen. Se appendix C.5.1 för exempel på beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

⇒ Våning 1-8: $P_{5,v} = 0.064$

⇒ Våning 9-16: $P_{5,v} = 0.16$

⇒ Våning 17-24: $P_{5,V} = 0.16$

Brandhiss finns ej

✘ Brandhiss finns ej och det representeras av att den är ur funktion.

$P_H = 1$

✘ De övriga variablerna är samma, som för brandhiss finns.

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{5,V}$.

Våning 1-8: $P_{5,V} = 0.11$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,V} = 0.15$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Våning 9-16: $P_{5,V} = 0.69$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,V} = 0.71$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Våning 17-24: $P_{5,V} = 0.85$ (då brandvarnare ljuder inom rimlig tid)
 $P_{5,V} = 0.86$ (då brandvarnare ej ljuder inom rimlig tid)

Händelsen har även här olika värden beroende om brandvarnaren ljuder eller ej. Det förenklas genom att räkna ut ett viktat medelvärde mellan dessa, se appendix C.5.1 för exempel på beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

⇒ Våning 1-8: $P_{5,V} = 0.12$

⇒ Våning 9-16: $P_{5,V} = 0.70$

⇒ Våning 17-24: $P_{5,V} = 0.85$

6. **Brandgaser blockerar trapphuset (se felträd i appendix B.5):**

✘ Brandgasspridning till slussen måste ha inträffat eftersom spridning till trapphuset förutsätter att slussen är rökfylld (händelsen finns inte i scenariot där brandgasspridning till slussen inte har skett tidigare, dvs i nej-grenen).

$P_A = 1$

✘ Läcktytor ger brandgasspridning från slussen till trapphuset. Värdet som används för läckor till slussen halveras då branden är längre ifrån.

$P_B = 0.075$

✘ Räddningstjänstens slangar från stigarledningen i trapphuset orsakar att dörren står öppen. Utifrån insatser som gjorts i USA antas detta ske relativt ofta [23], [24], [25].

$P_C = 0.20$

✘ Dörr till trapphuset står uppställd. Antas ske ca 10 dagar per år.

$P_D = 0.03$

✘ Självstängare felar (då personer evakuerar via trapphuset) [9].

$P_E = 0.10$

✘ Vind ligger på mot trapphuset (möjliggör att röken kan nå in i trapphuset). Värdet ges utifrån en vindros för Jönköping, uppmätt under 1961-1990 [48].

$P_F = 0.33$

- ✘ Fönster öppet längre upp i trapphuset, vilket ger ett sug uppåt. Antas ske ganska ofta.
 $P_G = 0.40$
- ✘ Dörr uppställd längre upp i trapphuset från trapphus till sluss, vilket ger ett sug uppåt. Antas även här 10 dagar per år.
 $P_H = 0.03$
- ✘ Lucka för ventilation av brandgaser öppnar ej. Värdet bedöms utifrån kontakt med personal från en räddningstjänst som gjort tester av ventilationsluckor [69].
 $P_I = 0.20$
- ✘ Aktivering (av ventilationslucka) av räddningstjänsten uteblir. Värdet antas vara lågt.
 $P_J = 0.01$

$$\Rightarrow P_{6,Q} = 0.045$$

7. *Brandgasspridning sker till lägenheten mitt emot (se felträd i appendix B.6):*

- ✘ Spridning sker till sluss. Spridning till trapphuset förutsätter att slussen är rökfylld (händelsen med brandgasspridning till lägenheten mitt emot finns endast i scenariot där slussen har blivit rökfylld).
 $P_A = 1$
- ✘ Dörr från lägenhet till sluss står uppställd. Antas som tidigare, 1 dag per år.
 $P_B = 3.0 \cdot 10^{-3}$
- ✘ Läckor ger brandgasspridning in till lägenheten. Antagandet är samma som tidigare.
 $P_C = 0.075$

$$\Rightarrow P_{7,E} = 0.078$$

8. *Brandspridning sker till lägenhet 2 (se felträd i appendix B.7):*

- ✘ Brandspridning sker via bjälklag. I svenska flerbostadshus är det ytterst sällsynt [65].
 $P_A = \text{försumbar}$
- ✘ Brandspridning via fasad och fönster antas, med stor sannolikhet, ske under vissa omständigheter, d v s då följande parametrar är uppfyllda; branden slocknar inte och släcks ej heller manuellt, sprinkler fallerar och räddningstjänsten gör inte en effektiv insats. Detta antagande görs utifrån en diskussion med personal från räddningstjänsten [64]. Parametrarna är uppfyllda tidigare i händelseträdet.
 $P_B = 0.95$

Här sker en förenkling för att scenarierna i händelseträdet ska blir färre. Sannolikheten höjs från 0.95 till 1, vilket medför att nej-grenen för ”brandspridning sker till lägenhet 2” inte längre finns och antalet scenarier reduceras.

$$\Rightarrow P_{8,C} = 1$$

9. *Brandvarnare ljuder inom rimlig tid, se punkt 2:*

$$\Rightarrow P_9 = 0.73$$

10. Brandgaser blockerar trapphuset senare (se felträd i appendix B.5):

- ✘ Brandgasspridning sker till slussen. Med ett "senare" skede menas då branden kan ha spridit sig till lägenhet 2 eller 3. Alltså finns det möjlighet att slussen vid lägenhet 2 fylls av brandgaser, eller att slussen vid lägenhet 3 fylls.
 $P_A = 0.45$
- ✘ Aktivering av ventilationslucka av räddningstjänsten uteblir. Värdet antas vara hälften av det som används då trapphuset blockeras i ett tidigare skede, ty räddningstjänsten har haft längre tid på sig att göra det.
 $P_I = 5.0 \cdot 10^{-3}$
- ✘ De övriga variablerna är samma som tidigare, där brandgaser blockerar trapphus i ett tidigare skede, se punkt 6.

$$\Rightarrow P_{10,Q} = 0.02$$

11. Brandgasspridning sker till de övre våningarna (se felträd i appendix B.8):Trycksättning finns

- ✘ Slussen vid brandlägenheten fylls med brandgaser. Händelse 4 anger om det sker eller ej (ja- eller nejgrenen för händelsen i händelseträdet). Om det inte har skett är det ändå möjligt att någon sluss fylls senare, då branden kan ha spridits till lägenhet 2 eller 3.
 $P_A = 1$ (sluss rökfylld i tidigt skede)
 $P_A = 0.45$ (sluss rökfylld i senare skede)
- ✘ Läckyor ger rökspredning till vertikala schakt (t ex ytor runt hissdörrar). Värdet antas vara ganska högt, då det lätt kan spridas brandgaser via springor i hissdörrar [53], [67].
 $P_B = 0.30$
- ✘ Trycksättning av hisschakt uteblir. Värdet antas efter kontakt med personal på NCC Teknik, som arbetar med höghusprojekt där trycksättning används [68].
 $P_C = 0.15$
- ✘ Dörrar till lägenheter står uppställda. Antas som tidigare, 1 dag per år.
 $P_D = 3.0 \cdot 10^{-3}$
- ✘ Läckyor ger brandgasspridning till lägenheterna (t ex ytor runt dörrar). Antas som tidigare.
 $P_E = 0.075$

Brandgaserna sprider sig till de våningarna som är ovan neutralplanet, ju högre upp desto mer spridning på grund av att tryckdifferensen blir större. Skorstenseffekten är kraftig i höga byggnader och det antas uppstå kritiska förhållanden i nästan hela volymen ovan neutralplanet, 90 %.

$$P_{11,I} = 3.1 \cdot 10^{-3} \text{ (sluss rökfylld i tidigt skede)}$$

$$P_{11,I} = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ (sluss rökfylld i ett senare skede)}$$

Händelsen har olika sannolikheter beroende om brandgasspridning till slussen har skett innan eller ej. För att göra en förenkling av detta beräknas ett viktat medelvärde mellan de två värdena som används fortsättningsvis i analysen. Se appendix C.5.2 för ett exempel på beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

$$\Rightarrow P_{11,I} = 1.8 \cdot 10^{-3}$$

Trycksättning finns ej

✘ Trycksättning finns ej, vilket representeras av att den är ur funktion.

$$P_C = 1$$

✘ De övriga parametrarna är samma som för situationen då ”trycksättning finns”.

Brandgaserna sprider sig till de våningarna som är ovan neutralplanet, ju högre upp desto mer spridning på grund av att tryckdifferensen blir större. Skorstenseffekten är kraftig i höga byggnader och det antas uppstå kritiska förhållanden i nästan hela volymen ovan neutralplanet, 90 %.

$$P_{11,I} = 0.021 \text{ (sluss rökfylld i tidigt skede)}$$

$$P_{11,I} = 9.4 \cdot 10^{-3} \text{ (sluss rökfylld i ett senare skede)}$$

För att göra en förenkling av detta beräknas ett viktat medelvärde mellan de två värdena som används fortsättningsvis i analysen. Se appendix C.5.2 för exempel på beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

$$\Rightarrow P_{11,I} = 0.012$$

12. Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 22 minuter (se felträd i appendix B.4):

Brandhiss finns

✘ Sen visuell upptäckt av brand antas samma värde som i punkt 5. Brandvarnare och sprinklerlarm antas i detta senare skede av förloppet inte påverka sannolikheten för att larm ska ske till räddningstjänsten.

$$P_B = 0.05$$

✘ Branden är för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värdet varierar mellan de olika våningarna. Värdet antas vara mindre än tidigare då de har längre tid på sig, men personalen som gör insats på brandvåningarna måste avlösas och det innebär att ett visst problem kvarstår ändå.

$$P_F = 0.01 \text{ (våning 1-8)}$$

$$P_F = 0.20 \text{ (våning 9-16)}$$

$$P_F = 0.40 \text{ (våning 17-24)}$$

✘ De övriga variablerna är samma som tidigare under punkt 5, där brandhiss finns.

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{12,V}$.

$$\Rightarrow \text{Våning 1-8: } P_{12,V} = 0.052$$

$$\Rightarrow \text{Våning 9-16: } P_{12,V} = 0.10$$

$$\Rightarrow \text{Våning 17-24: } P_{12,V} = 0.10$$

Brandhiss finns ej

- ✘ Sen visuell upptäckt av brand antas samma värde som i punkt 5. Brandvarnare antas, i detta senare skede av förloppet, inte påverka värdet för att larm ska ske till räddningstjänsten.

$$P_B = 0.05$$

- ✘ Branden är för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värdet varierar mellan de olika våningarna. Värdet antas vara mindre än tidigare då de har längre tid på sig, men personalen som gör insats på brandvåningarna måste avlösas och det innebär att visst problem kvarstår ändå.

$$P_F = 0.01 \text{ (våning 1-8)}$$

$$P_F = 0.20 \text{ (våning 9-16)}$$

$$P_F = 0.40 \text{ (våning 17-24)}$$

- ✘ De övriga parametrarna är samma som tidigare under punkt 5, där brandhiss ej finns. De värden som erhålls gäller för "räddningstjänsten klarar **inte** insatsen" och i händelseträdet ingår händelsen "räddningstjänsten klarar insatsen". Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{12,V}$.

$$\Rightarrow \text{Våning 1-8: } P_{12,V} = 0.11$$

$$\Rightarrow \text{Våning 9-16: } P_{12,V} = 0.35$$

$$\Rightarrow \text{Våning 17-24: } P_{12,V} = 0.54$$

13. Brandspridning sker till lägenhet 3, se punkt 8:

$$\Rightarrow P_{13,C} = 1$$

14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid, se punkt 2:

$$\Rightarrow P_{14} = 0.73$$

15. Brandgaser blockerar trapphuset senare, se punkt 10:

$$\Rightarrow P_{15,Q} = 0.020$$

16. Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 32 minuter (se felträd i appendix B.4):Brandhiss finns

- ✘ Visuell upptäckt av branden antas redan ha skett vid den här tidpunkten.

$$P_B = 0$$

- ✘ Branden är för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värdet antas vara mindre än tidigare då de har längre tid på sig, men personalen som gör insats på brandvåningarna måste avlösas och det innebär att visst problem kvarstår ändå för de övre våningarna.

$$P_F = 0 \text{ (våning 1-8)}$$

$P_F = 0.10$ (våning 9-16)

$P_F = 0.20$ (våning 17-24)

- ✘ Att räddningstjänsten ej har tillräckligt med vatten beror av följande parametrar; pumpar stoppar, felinställd vattenreducering och otillräcklig vattenförsörjning från kommunal vattenledning. På grund av tiden som förflutit sedan insatsens början, antas sannolikheten för att de ej har tillräckligt med vatten halveras.

$P_T = 0.026$

- ✘ De övriga variablerna är samma som tidigare under punkt 5, där brandhiss finns.

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{16,V}$.

$$\Rightarrow \text{Våning 1-8: } P_{16,V} = 1.0 \cdot 10^{-4}$$

$$\Rightarrow \text{Våning 9-16: } P_{16,V} = 0.028$$

$$\Rightarrow \text{Våning 17-24: } P_{16,V} = 0.029$$

Brandhiss finns ej

- ✘ Visuellt upptäckt av branden antas redan skett vid den här tidpunkten.

$P_B = 0$

- ✘ Branden är för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värden antas vara mindre än tidigare då de har längre tid på sig, men personalen som gör insats på brandvåningarna måste avlösas och det innebär att ett visst problem kvarstår ändå för de övre våningarna.

$P_F = 0$ (våning 1-8)

$P_F = 0.10$ (våning 9-16)

$P_F = 0.20$ (våning 17-24)

- ✘ Att räddningstjänsten ej har tillräckligt med vatten beror av parametrarna; pumpar stannar, felinställd vattenreducering och otillräcklig vattenförsörjning från kommunal vattenledning. På grund av tiden som förflutit sedan insatsens början, antas sannolikheten för att de ej har tillräckligt med vatten halveras.

$P_T = 0.026$

- ✘ De övriga variablerna är samma som tidigare under punkt 5, där brandhiss ej finns.

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{16,V}$.

$$\Rightarrow \text{Våning 1-8: } P_{16,V} = 0.05$$

$$\Rightarrow \text{Våning 9-16: } P_{16,V} = 0.21$$

$$\Rightarrow \text{Våning 17-24: } P_{16,V} = 0.34$$

Händelseträdet som ingår i analysen består av flera scenarier. Scenarierna är uppbyggda av olika kombinationer av händelserna 1-16. Varje händelse har nu tilldelats värden på dess

frekvens eller sannolikhet. Slutfrekvensen för scenarierna kan beräknas med hjälp av värdena på de händelser som ingår för respektive scenario.

En sammanställning redovisas i tabell 5.1, över sannolikheterna (P) för de olika händelserna som följer då brand uppstår i en lägenhet. Värden anges för brand på våning 1-8, 9-16 och 17-24, eftersom sannolikheterna ändras mellan dessa för vissa händelser. Den vidare analysen kommer att studera hur olika skyddssystem påverkar risken i byggnaden och därför redovisas värdena då ett skyddssystem finns samt då det inte finns. Värdena som erhöles för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” skrivs om på formen ”räddningstjänsten klarar insatsen”, dvs $(1 - P_{rtj\ klarar\ inte})$, eftersom det är den senare händelsen som ingår i händelseträdet.

Initialhändelse:

1. Brand uppstår i en lägenhet: $Z = 8.9 \cdot 10^{-4}$ bränder per lägenhet och år.

Tabell 5-1 Sammanfattande tabell som redovisar de olika händelsernas sannolikheter. Värden är angivna för både med och utan vissa skyddssystem.

Händelse	Sannolikhet P vån 1-8	Sannolikhet P vån 9-16	Sannolikhet P vån 17-24
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73	0.73	0.73
3. Sprinkler begränsar eller släcker branden då: sprinkler finns	0.95	0.95	0.95
sprinkler finns ej	0	0	0
4. Brandgasspridning sker till sluss	0.26	0.26	0.26
5. Räddningstjänsten klarar insats (<12 min) då: brandhiss finns	(1-0.064)	(1-0.16)	(1-0.16)
brandhiss ej finns	(1-0.12)	(1-0.70)	(1-0.85)
6. Brandgaser blockerar trapphuset	0.045	0.045	0.045
7. Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot	0.078	0.078	0.078
8. Brandspridning sker till lägenhet 2	1	1	1
9. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73	0.73	0.73
10. Brandgaser blockerar trapphuset senare	0.02	0.02	0.02
11. Brandgasspridning till de övre vån då: trycksättning finns	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$
trycksättning ej finns	0.012	0.012	0.012
12. Räddningstjänsten klarar insats (<22 min) då: brandhiss finns	(1-0.052)	(1-0.10)	(1-0.10)
brandhiss ej finns	(1-0.11)	(1-0.35)	(1-0.54)
13. Brandspridning sker till lägenhet 3	1	1	1
14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73	0.73	0.73
15. Brandgas blockerar trapphuset senare	0.02	0.02	0.02
16. Räddningstjänsten klarar insats (<32 min) då: brandhiss finns	$(1-1.0 \cdot 10^{-4})$	(1-0.028)	(1-0.029)
brandhiss ej finns	(1-0.05)	(1-0.21)	(1-0.34)

5.5.4 Bestämning av konsekvenser

För varje händelse i händelseträdet bestäms konsekvensen (för då brand uppstår i en lägenhet). Genom att summera konsekvenserna för varje händelse i ett scenario erhålls slutfrekvensen för det scenariet. Alla scenarierna i händelseträdet kan bestämmas på samma sätt. Konsekvensen anges i hur många personer som drabbas, d v s utsätts för kritiska förhållanden, vad gäller rökfri höjd, sikt och värmestrålning [7]. Gränsen för kritiska förhållanden är flytande och betyder inte nödvändigtvis att de drabbade omkommer, utan de kan klara sig i en sådan omgivning. Det är många faktorer som inverkar på hur en människa påverkas i en miljö med kritiska förhållanden, t ex ålder och personens fysiska tillstånd. En person som tar sig fram hukat, andas in mindre rök och har bättre sikt och kan på detta sätt klara sig längre i en kritisk miljö. Vid bedömning av risken i byggnaden används kritiska förhållanden som gräns och det tas inte hänsyn till individuella skillnader mellan människorna.

För att beräkna konsekvenserna måste antalet personer i byggnaden bedömas. Varje lägenhet antas bestå av fyra rum. Enligt befolkningsstatistiken, från Statistiska Centralbyrån, bor det i genomsnitt ca tre personer i en 4- rumslägenhet i ett flerbostadshus [45]. De flesta bränder, olycksrelaterade och anlagda bränder, inträffar under kvällen mellan klockan 17-21 och har en topp vid klockan 18-19 [52, kap 2]. I analysen antas branden inträffa någon gång under den tiden, och de boende förutsätts då vara i hemmet. De boende ska, enligt utrymningsstrategin, utrymma då det uppstår en brand i deras lägenhet. Övriga personer i byggnaden förväntas stanna kvar i sina lägenheter som betraktas som säker plats för dem. På grund av detta anses det inte vara lämpligt att utföra simuleringar över utrymningen, utan en bedömning av konsekvensen anses vara fullgod.

Händelserna i händelseträdet (16 stycken) påverkar de boendes utrymningssituation. För varje händelse av dessa, anges vad konsekvensen blir. Varje scenario i händelseträdet består av flera av händelserna 1-16. Konsekvensen anges för både då händelsen inträffar och då den inte inträffar (ja- respektive nejgrenen i händelseträdet). De utrymmen som nämns beskrevs tidigare i figur 5.5.

1. **Brand uppstår i lägenhet.**

Brand i en lägenhet utgör grunden till att någon av de övriga händelserna ska inträffa, men primärt sker ingen konsekvens, utan det beror på brandvarnarens och sprinklerns funktion.

2. **Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?**

Ja:

Om brandvarnaren i den brandutsatta lägenheten ljuder inom rimlig tid antas alla personerna i den lägenheten hinna ut och ingen utsätts då för kritiska förhållanden.

Nej:

I det motsatta fallet då brandvarnaren inte ljuder beräknas två personer hinna evakuera. Antagandet baseras på en undersökning av hur boende uppmärksammas på brand i en lägenhet [1, tab 3.3]. Antalet som drabbas resulterar då i en person.

3. **Sprinkler begränsar eller släcker branden?**

Ja:

I fallet då sprinkler begränsar eller släcker branden antas tiden till kritiska förhållanden förlängas så de boende har tillräcklig tid på sig att utrymma. Då drabbas inte någon person. Detta gäller trots att brandvarnaren inte fungerar.

Nej:

Om sprinkler däremot inte fungerar kan de övriga händelserna inträffa, d v s spridning av brand- och brandgaser.

4. Brandgasspridning sker till slussen?

Ja:

När brandgasspridning sker till slussen finns det risk för att de boende mitt emot påverkas, om de väljer att utrymma. I ett initialt skede antas dock dessa personer stanna kvar i sin lägenhet, och ingen utsätts för kritiska förhållanden.

Nej:

Det blir ingen konsekvens om brandgasspridning inte sker till slussen. Brandgasspridning till lägenheten mitt emot, trapphuset och de övre våningarna kan då inte inträffa.

5. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 12 minuter?

Ja:

Då räddningstjänsten klarar insatsen inom 12 minuter antas situationen inte förvärras och vidare brand- och brandgasspridning förhindras. Inga fler personer drabbas därmed.

Nej:

Om räddningstjänsten inte klarar insatsen kan de övriga händelserna (7-16) inträffa.

6. Brandgaser blockerar trapphuset?

Ja:

Då brandgasspridning sker till trapphuset finns det risk för att andra boende i huset, förutom personerna i brandutsatt lägenhet, påverkas om de väljer att utrymma. I ett initialt skede antas dock dessa personer stanna kvar i sina lägenheter och ingen drabbas.

Nej:

Ingen drabbas om brandgaserna inte blockerar trapphuset.

7. Brandgasspridning sker till lägenheten mitt emot?

Ja:

Om det inträffar kan inte de boende mitt emot utrymma eftersom det troligtvis har ackumulerats tillräckligt med brandgaser i slussen för att nå kritiska förhållanden där. Det resulterar i att tre personer drabbas.

Nej:

Det blir ingen konsekvens om det inte inträffar.

8. Brandspridning sker till lägenhet 2?

Ja:

Konsekvensen beror på om brandvarnare i lägenhet 2 ljuder inom rimlig tid (se nr 9). Det beror även på om trapphuset redan är fyllt med brandgaser för då kan de boende i lägenhet 2 inte utrymma och resultatet blir att tre personer utsätts för kritiska förhållanden.

Nej:

Ingen drabbas om branden inte sprider sig till lägenhet 2.

9. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?

Ja:

Om brandvarnaren i lägenhet 2 ljuder inom rimlig tid antas alla personerna i den lägenheten hinna ut och ingen utsätts för kritiska förhållanden.

Nej:

I det motsatta fallet då brandvarnaren inte ljuder beräknas två personer hinna evakuera, enligt en undersökning av hur boende uppmärksammas på brand i en lägenhet [1, tab 3.3]. Antalet som drabbas resulterar då i en person.

10. Brandgaser blockerar trapphuset senare?

Ja:

Det finns risk för att alla boende i huset påverkas om de väljer att utrymma, eftersom trapphuset är den enda utrymningsvägen. Personerna antas dock stanna kvar i sina lägenheter och ingen drabbas.

Nej:

Ingen drabbas om brandgaserna inte blockerar trapphuset.

11. Brandgasspridning sker till de övre våningarna?

Ja:

Den övre halvan av byggnaden består av 12 våningar och det befinner sig 72 personer i lägenheterna. En del av de människorna antas hinna utrymma innan det uppstår kritiska förhållanden. Det antas vara åtta personer (ca 10 %) som drabbas om brandgasspridning sker till de övre våningarna.

Nej:

Det blir ingen konsekvens om brandgasspridning inte sker till de övre våningarna.

12. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 22 minuter?

Ja:

Då räddningstjänsten klarar insatsen inom 22 minuter antas situationen inte förvärras, och vidare brand- och brandgasspridning förhindras. Inga fler personer drabbas därmed.

Nej:

Om räddningstjänsten inte klarar insatsen kan de övriga händelserna (13-16) inträffa.

13. Brandspridning sker till lägenhet 3?

Ja:

Konsekvensen beror på om brandvarnare i lägenhet 3 ljuder inom rimlig tid (se nr 14). Det beror även på om trapphuset redan är fyllt med brandgaser eftersom då kan de boende i lägenhet 2 inte utrymma. Resultatet blir att tre personer utsätts för kritiska förhållanden.

Nej:

Ingen drabbas om branden inte sprider sig till lägenhet 3.

14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?

Ja:

Om brandvarnaren i lägenhet 3 ljuder inom rimlig tid antas alla personerna i den lägenheten hinna ut och ingen utsätts för kritiska förhållanden.

Nej:

I det motsatta fallet då brandvarnaren inte ljuder beräknas två personer hinna utrymma. Antalet som drabbas är då i en person.

15. Brandgaser blockerar trapphuset senare?Ja:

Personerna i byggnaden (förutom de som befinner sig vid branden) antas stanna kvar i sina lägenheter och ingen drabbas.

Nej:

Ingen drabbas om brandgaserna inte blockerar trapphuset.

16. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 minuter?Ja:

Om räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 minuter förhindras ytterligare brand- och brandgasspridning i byggnaden och inga fler personer drabbas.

Nej:

Då räddningstjänsten inte klarar insatsen (sista händelsen i analysen) antas att räddningsmanskaper inte längre har kontroll över branden och det kan ta en tid att bemästra den. Det bedöms att de så småningom lyckas med sin insats, grundat på en diskussion med personal från räddningsverket [65]. Under tiden, innan de lyckas med insatsen, antas några boende försöka utrymma, trots att de utsätts för en farlig miljö. Det har visat sig vara fakta enligt flera studier av utrymning ur höga byggnader [19], [38], [53]. Om trapphuset redan fyllts med brandgaser antas därmed fem stycken utsättas för kritiska förhållanden och om trapphuset inte är fyllt antas antalet istället vara tre personer.

För att minska antalet scenarier i händelseträdet krävs en förenkling. Det görs med avseende på händelsen ”brandvarnaren ljuder inom rimlig tid?” som finns vid tre tillfällen i händelseträdet. Grenarna i händelseträdet ser likadana ut efter den händelsen. Därför antas istället ett viktat medelvärde av konsekvensen för ja- och nej-grenen i händelseträdet för ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid?”.

Brandvarnare ljuder?	Antal drabbade N	Sannolikhet P
Ja	0	0.73
Nej	1	0.27

Ett viktat medelvärde beräknas till ca 0.3 personer (d v s $0.27 \cdot 1 + 0.73 \cdot 0$).

Utfallet för antalet drabbade ger det viktade medelvärdet 0.3 personer, för händelsen med brandvarnaren. Istället för att använda 0.3 drabbade personer i analysen utnyttjas istället heltalen 0 personer och 1 person. Risknivån för byggnaden bestäms för både situationen då 0 personer drabbas och då 1 person drabbas. Den förstnämnda risknivån anger risken för situationen då brandvarnaren ljuder och den sistnämnda anger risken för situationen då brandvarnaren inte ljuder.

Brandvarnare ljuder: 0 personer utsätts för kritiska förhållanden.

Brandvarnare ljuder inte: 1 person utsätts för kritiska förhållanden.

Riskbilden presenteras för båda situationerna (brandvarnare ljuder och brandvarnare ljuder inte). Det är då möjligt att studera hur mycket brandvarnaren påverkar risken. Byggnadens risknivå ligger något närmare den riskbild som erhålls för situationen då brandvarnare ljuder, eftersom chansen för att brandvarnaren ska ljuda antas vara 73 % i byggnaden.

Denna förenkling tillsammans med de förenklingar som utförts tidigare angående sannolikheterna resulterar i ett färre antal scenarier. Från att till en början vara ca 400 stycken reduceras de nu till 61 scenarier.

Händelseträdet som ska analyseras utgörs av händelse 1-16, som i kombination med varandra bildar scenarier. Slutkonsekvensen (N) för ett scenario bestäms utifrån vilka händelser som ingår i scenariot. En sammanfattning presenteras i tabell 5.2 över händelserna som följer efter att brand uppstår i en lägenhet, samt hur många personer som antas drabbas för respektive händelse.

Initialhändelse:

1. Brand uppstår i en lägenhet.

Tabell 5-2 Konsekvenser för de olika händelserna i trädet som följer efter att brand uppstår i en lägenhet.

Händelse	Ja-gren	Nej-gren
	(max antal drabbade) N	(max antal drabbade) N
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
3. Sprinkler begränsar eller släcker branden?	0	0
4. Brandgasspridning sker till sluss?	0	0
5. Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0	0
6. Brandgaser blockerar trapphuset?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
7. Brandgasspridning till lägenhet mitt emot?	3	0
8. Brandspridning sker till lägenhet 2?	3*	0
9. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
10. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
11. Brandgasspridning till de övre våningarna?	8	0
12. Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0	0
13. Brandspridning sker till lägenhet 3?	3*	0
14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
15. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
16. Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0	5**

* Då trapphuset inte är rökfyllt blir konsekvensen mindre och beror av brandvarnaren:

Brandvarnaren ljuder => N= 0

Brandvarnaren ljuder ej => N= 1

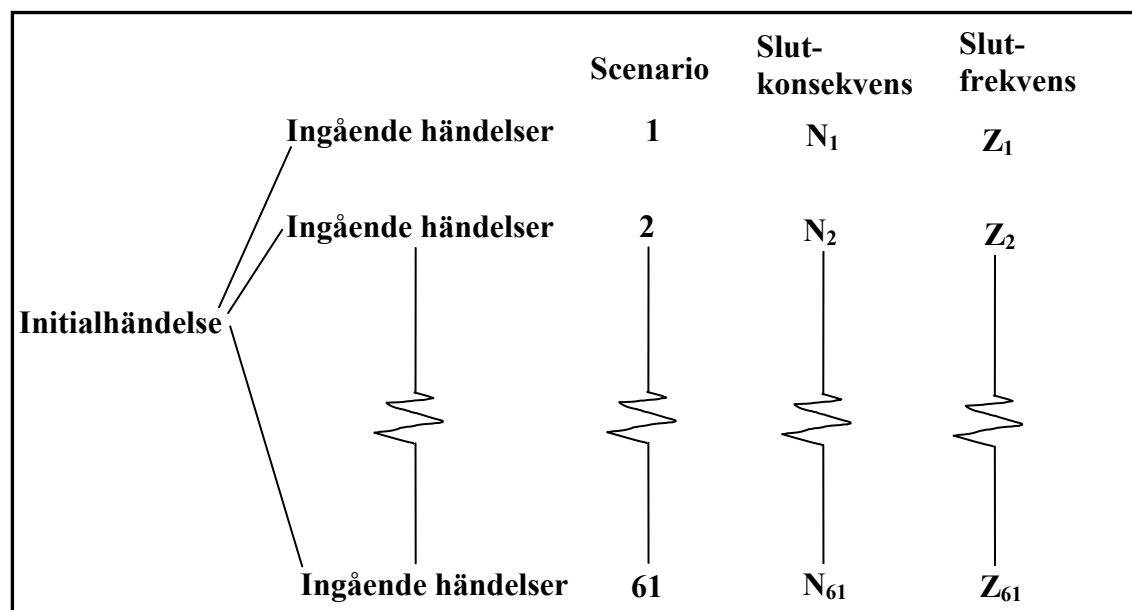
** Då trapphuset inte är rökfyllt:

=> N= 3

5.5.5 Bestämning av risk

De 16 händelserna ovan ingår i händelseträdet som beskriver förloppet då brand uppstår i *en* lägenhet. Med hjälp av händelseträdet och dess 61 scenarier kan risken bestämmas för brand i en lägenhet. I metodavsnittet (kap 5.5.1) beskrivs beräkningsgången utförligt för hur risken kan erhållas utifrån ett händelsetråd. En kortfattad redogörelse utförs över hur risken bestäms för den höga byggnaden.

En frekvens för initialhändelsen (brand utbryter i en lägenhet) i händelseträdet har fastställts. Alla 16 händelser som följer efter initialhändelsen är definierade med avseende på sannolikhet och konsekvens. För varje scenario som skapas med hjälp av händelseträdet bestäms slutfrekvensen (Z). Slutfrekvensen för ett scenario beräknas genom att multiplicera sannolikheterna för de ingående händelserna med initialfrekvensen. Därefter bestäms slutkonsekvensen genom att addera konsekvensen för de ingående händelserna i ett scenario. Alla 61 scenarier har då tilldelats en slutfrekvens och en slutkonsekvens (se figur 5.9). Händelseträdet är stort (61 olika scenarier) och det kan inte presenteras i rapporten. Händelser som ingår i varje scenario finns dock i appendix D.1.3.



Figur 5-9 Slutfrekvens och slutkonsekvens bestäms för varje scenario för att kunna beräkna risken.

När alla 61 scenarier har tilldelats både en slutfrekvens och en slutkonsekvens kan risken bestämmas. Medelrisken, förväntat antal drabbade, för situationen då brand uppstår i en lägenhet beräknas enligt följande:

$$\text{Medelrisk} = \sum_{i=1}^{61} Z_i \cdot N_i \quad [13, \text{kap 4.4.3}]$$

Byggnaden omfattar 24 våningar, vilket motsvarar 48 lägenheter. Risken beräknas på motsvarande sätt för alla 48 lägenheterna. Vid bestämning av den totala risken för hela byggnaden ingår risken för alla 48 lägenheterna. Risknivån för byggnaden åskådliggörs även med F/N-diagram. Även när F/N-diagram skapas utnyttjas slutfrekvensen och slutkonsekvensen för varje scenario. Beräkningsgången för att erhålla ett F/N-diagram för hela byggnaden demonstreras i appendix D.

5.5.6 Osäkerheter

Analysen innefattar vissa osäkerheter som tillkommit under arbetets gång. Dessa måste beaktas när resultaten värderas och betraktas.

- ▶ Vid framtagandet av felträden tas de orsaker med som under arbetets gång identifierats och känts relevanta. Det har skett med hjälp av litteratur och diskussion med personer

i branschen. Det kan dock finnas orsaker som har förbisetts eller som inte kommit till kännedom.

- ▶ Sannolikheterna för orsakerna ger vid beräkning sannolikheten för topphändelsen i felträdet. Det har inte varit möjligt att underbygga alla dessa med statistiskt material och flera värden har då antagits, men i flera fall har värden baserats på diskussioner med personer som varit insatta i problematiken. Det är framförallt metodiken som presenteras i arbetet, och siffrorna ska främst ge möjlighet till en jämförelse mellan olika skyddssystem och mellan olika höga byggnader. Värdena som används kan i framtiden justeras om de kan underbyggas av fakta.
- ▶ Några sannolikheter är baserade på flera olika källor för att öka tillförlitligheten. Resten av dem är grundade på endast en referens, vilket kan innebära att värdet inte helt representerar verkligheten.
- ▶ Underlaget för bestämning av sannolikheterna är i flera fall utländsk, då det inte hittats eller existerat svenskt underlag. Det kan innebära att det inte är helt applicerbart på svenska förhållanden.
- ▶ Räddningstjänsten i Sverige har inte stor erfarenhet av bränder i höga byggnader. Byggnaderna och personalstyrkorna ser inte likadana ut som i andra länder [43]. Det är därför svårt att veta vilka konsekvenser som den sista händelsen i händelseträdet kan innebära, d v s ”räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 minuter”.

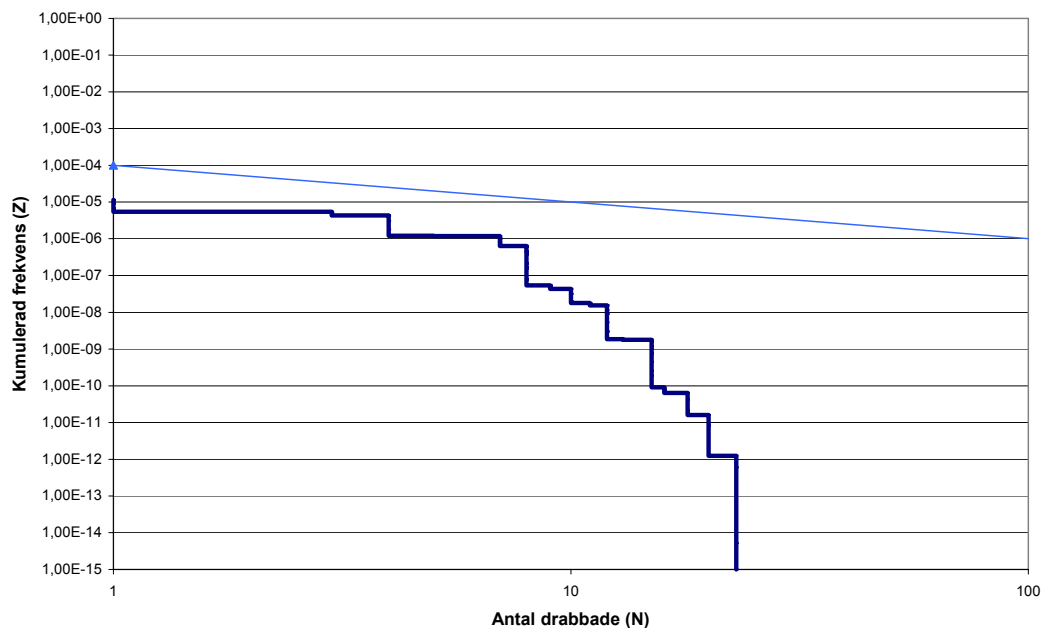
5.6 Risknivå - medelrisk och F/N-diagram

Riskenivån åskådliggörs med hjälp av F/N-diagram och medelrisk. F/N-diagrammet anger kumulerad frekvens och antal drabbade, d v s antalet som utsätts för kritiska förhållanden. Medelrisken fastställer förväntat antal drabbade per år i byggnaden. Beräkningsgången för att framställa F/N-diagram redovisas i appendix D. I diagrammen finns en hjälplinje för att lättare uppfatta nivån på riskkurvan. **Den utgör dock inte ett acceptanskriterium** utan ska endast betraktas som en referenslinje för att möjliggöra jämförelser mellan olika skyddssystem och olika höga byggnader. Värdering av risken utförs i ett senare kapitel.

Beroende av vilka skyddssystem som finns i byggnaden kommer riskenivån att ändras. Risken visas för några olika kombinationer av de viktigaste skyddssystemen, d v s de som antas påverka nivån mest. Skyddssystemen som beaktas är sprinkler, brandhiss och trycksättning av hisschakt. Utgångsläget för F/N-diagrammen är att alla dessa finns och när något eller några inte är med i analysen anges detta. För övrigt gäller de villkor som beskrivs under objektsbeskrivning och förutsättningar, se kapitel 5.1 och 5.2. Brandvarnare är ytterligare ett skyddssystem som påverkar riskbilden och är inkluderad i analysen. F/N-diagram och medelrisk presenteras för både då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder. Det möjliggör en jämförelse för att undersöka hur risken påverkas av att det finns fungerande brandvarnare i byggnaden.

5.6.1 Utgångsläget - skyddssystemen finns

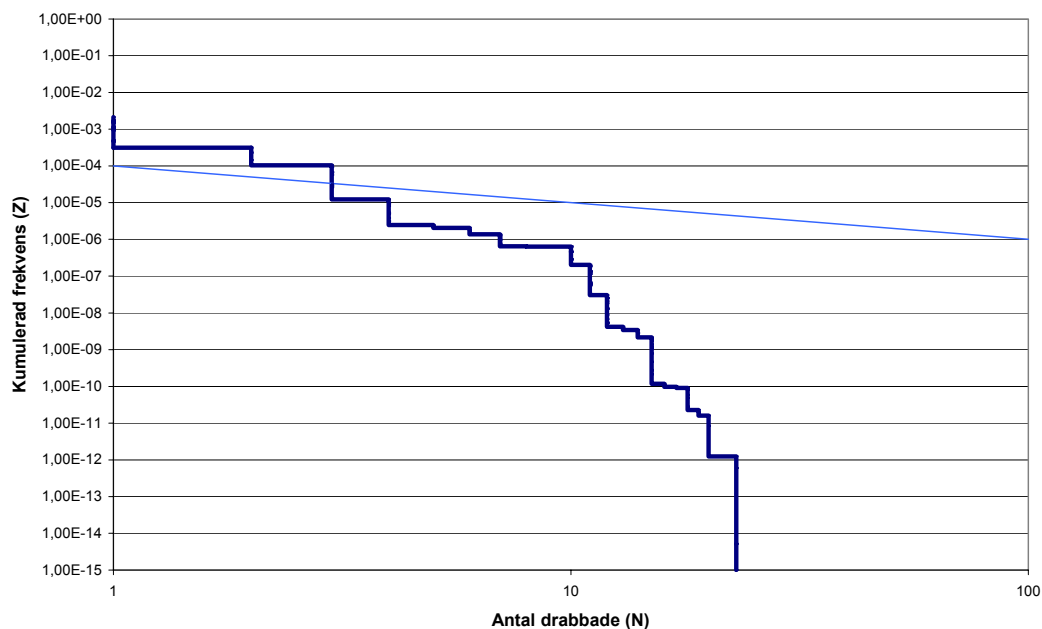
Till att börja med studeras riskenivån då skyddssystemen sprinkler, brandhiss och trycksättning finns med i byggnaden. Risknivån presenteras med F/N-diagram och medelrisk och visas för situationen då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder, se figur 5.9 och 5.10.



Figur 5-10 F/N-diagrammet visar riskbilden när skyddssystemen finns i byggnaden och då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $3.1 \cdot 10^{-5}$ drabbade per år.

Hela riskkurvan ligger under stödlinjen som finns markerad i F/N-diagrammet. För fler drabbade än 10 personer, är kurvan starkt avtagande. Risken för att få personer ska utsättas för kritiska förhållanden är således större än risken för att många ska drabbas.



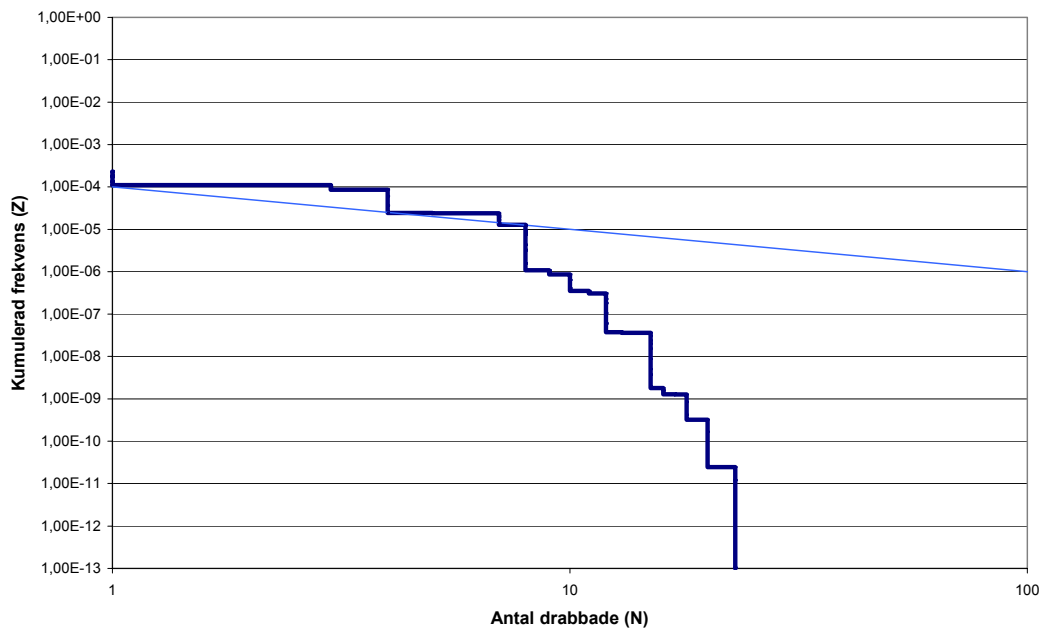
Figur 5-11 F/N-diagrammet visar riskbilden när skyddssystemen finns i byggnaden och då brandvarnaren inte ljuder.

Medelrisk: $2.6 \cdot 10^{-3}$ drabbade per år.

Risken för att ett fåtal personer ska drabbas når en bit över linjen. Därefter håller sig kurvan ganska plan tills 10 personer nås, och där blir kurvan brant. Risknivån skiljer sig från fallet då brandvarnaren ljuder genom att risken ökar där enstaka personer utsätts för kritiska förhållanden. Medelrisken ökar med knappt två tiopotenser.

5.6.2 Utan sprinkler

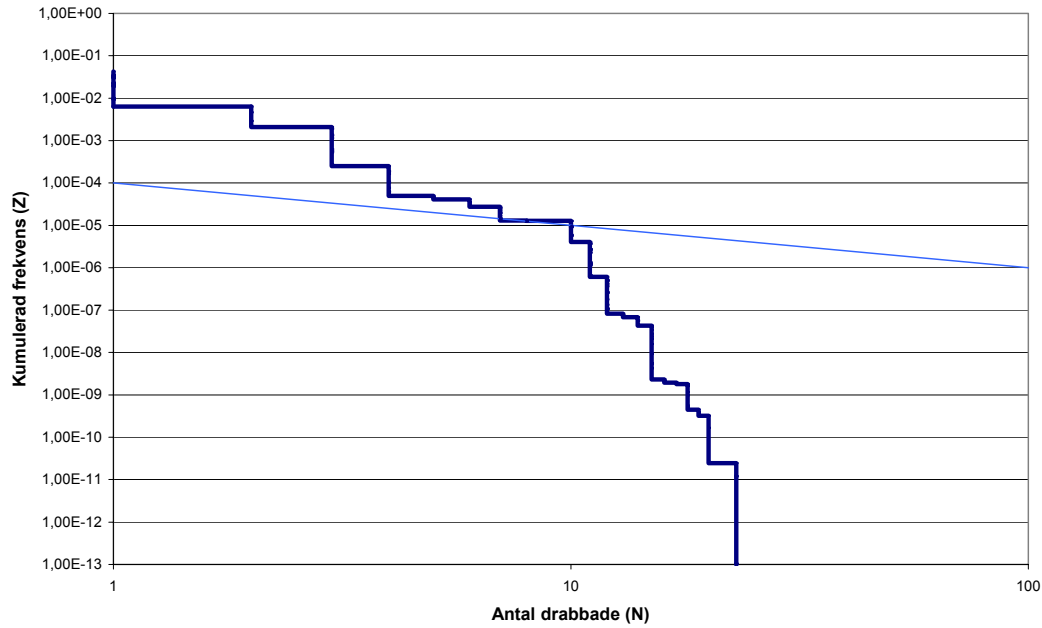
För att se hur sprinkler påverkar risknivån i byggnaden studeras riskbilden då sprinkler inte är med i analysen. Risknivån anges även här för situationen då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder.



Figur 5-12 F/N-diagrammet visar riskbilden när sprinkler inte finns i byggnaden, men då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $6.2 \cdot 10^{-4}$ drabbade per år.

Då sprinkler inte finns i byggnaden lägger sig riskkurvan ovanför linjen fram till att ca åtta personer drabbas. På ett par ställen tangerar kurvan hjälplinjen. I den högra delen av diagrammet lutar kurvan kraftigt.



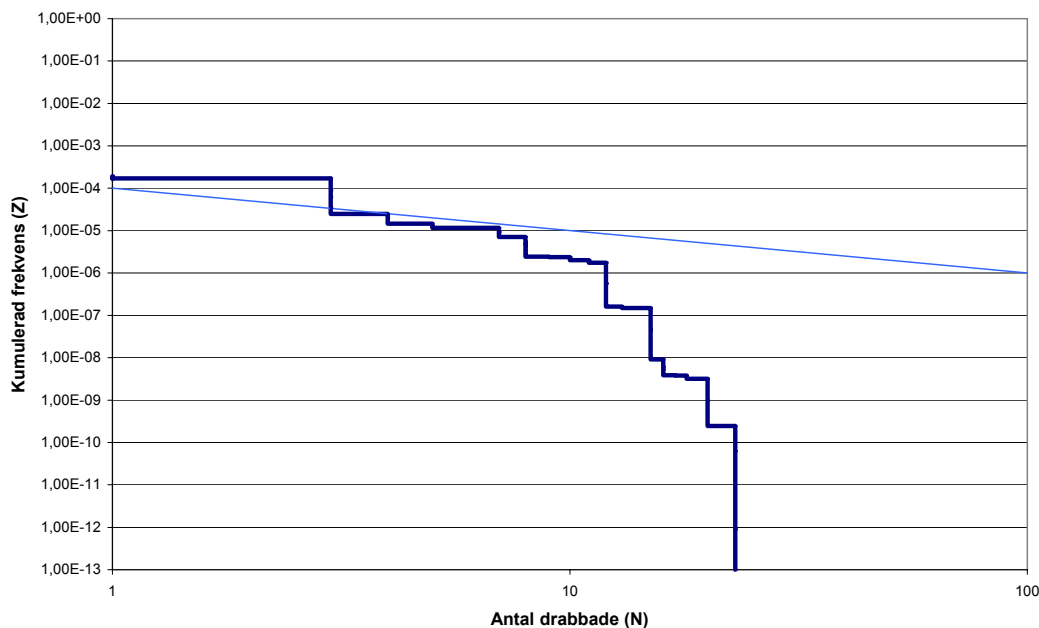
Figur 5-13 F/N-diagrammet visar riskbilden när sprinkler inte finns i byggnaden och då brandvarnaren inte heller ljuder.

Medelrisk: 0.051 drabbade per år.

En stor del av kurvan ligger över linjen. Skillnaden från innan, då brandvarnaren ljuder, är en avsevärd ökning av risken för att ett fåtal personer drabbas, d v s mindre än 10 personer. Medelrisken är även här ca två tiopotenser högre.

5.6.3 Utan brandhiss

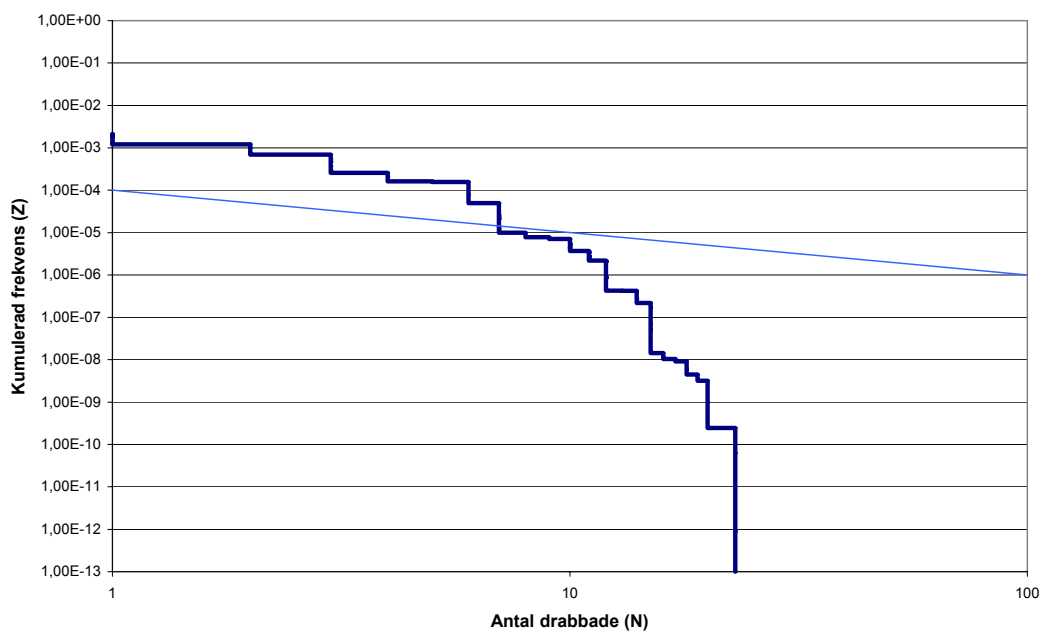
För att studera vilken risk det innebär för de boende, om brandhiss inte är installerat i byggnaden, görs en riskprofil för den situationen. Risken anges för när brandvarnaren ljuder och när den inte ljuder.



Figur 5-14 F/N-diagrammet visar riskbilden när brandhiss inte finns i byggnaden, men då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $6.1 \cdot 10^{-4}$ drabbade per år.

Riskenivån når området under hjälplinjen, vid knappt fem stycken drabbade. På några ställen tangerar kurvan stömlinjen och då kurvan passerar drygt 10 personer, lutar den brant.



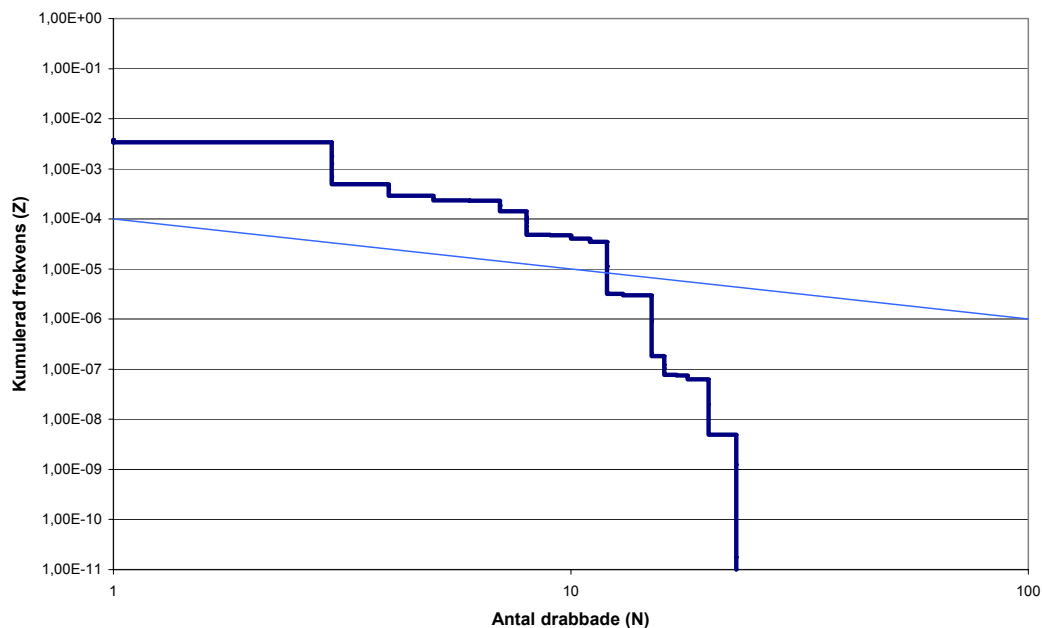
Figur 5-15 F/N-diagrammet visar riskbilden när brandhiss inte finns i byggnaden och då brandvarnaren inte heller ljuder.

Medelrisk: $4.7 \cdot 10^{-3}$ drabbade per år.

Risken ökar en del vid en jämförelse med risken för då brandvarnaren ljuder och det gäller främst där mindre än 10 personer utsätts för kritiska förhållanden. Medelrisken är ca åtta gånger större då brandvarnaren inte ljuder.

5.6.4 Utan sprinkler och brandhiss

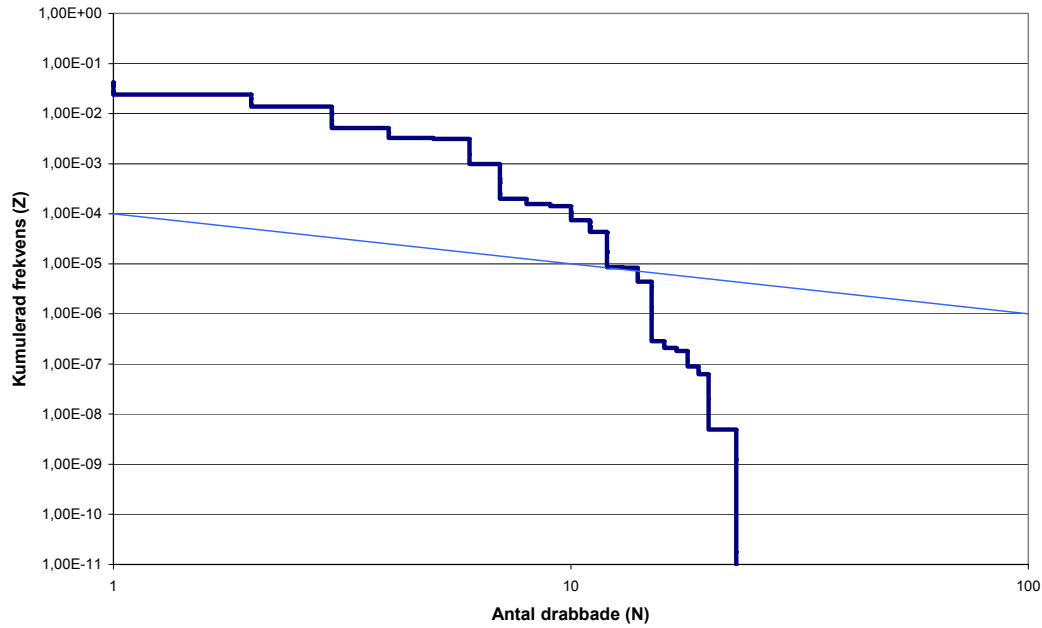
För att studera vilken risknivå som nås utan de två, i sammanhanget viktigaste skyddssystemen för de boende och för räddningstjänsten, presenteras en riskprofil där varken sprinkler eller brandhiss finns. De två fallen för brandvarnaren studeras, d v s då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder.



Figur 5-16 F/N-diagrammet visar riskbilden då varken sprinkler eller brandhiss finns, men då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: 0.012 drabbade per år.

Då varken sprinkler eller brandhiss finns, befinner sig riskkurvans större del långt över linjen.



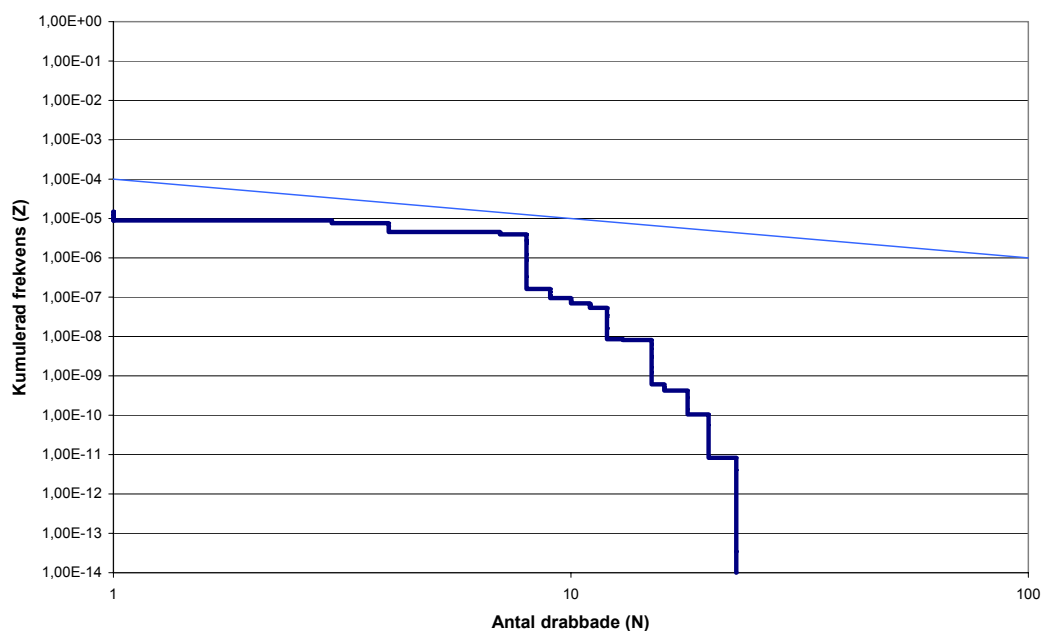
Figur 5-17 F/N-diagrammet visar riskbilden då varken sprinkler eller brandhiss finns och då brandvarnaren inte ljuder.

Medelrisk: 0.094 drabbade per år

För situationen då brandvarnaren inte ljuder ligger risknivån högre. Fram till drygt 10 drabbade personer ligger kurvan en stor bit ovan hjälplinjen. Medelrisken är ca åtta gånger större än för situationen då brandvarnaren ljuder.

5.6.5 Utan trycksättning

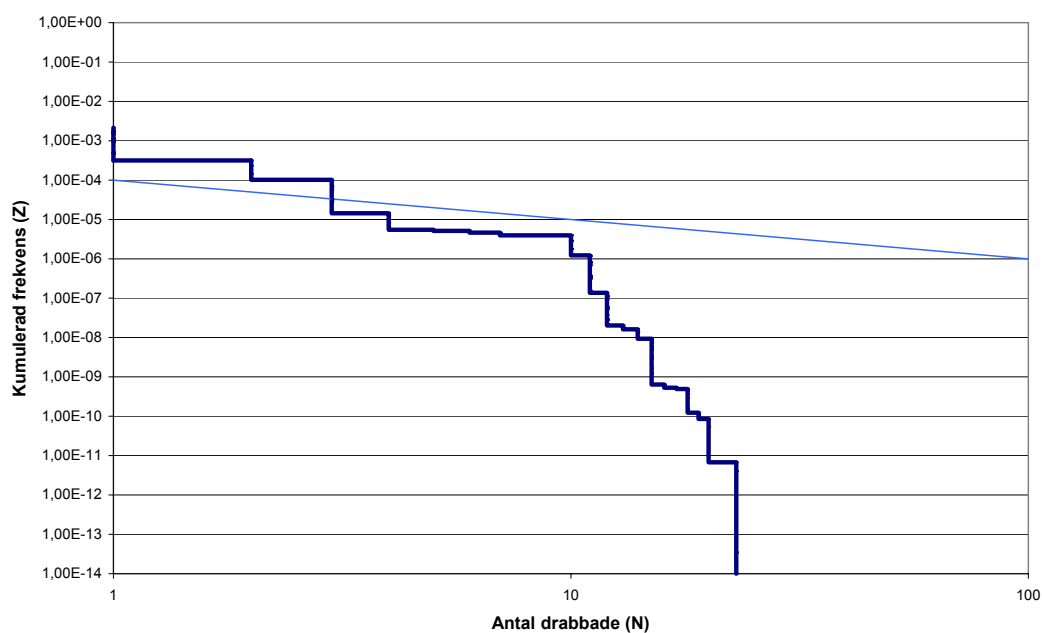
Hisschakten i byggnaden utrustas med trycksättning. För att se hur riskbilden ändras om det inte finns, görs även en studie för det fallet.



Figur 5-18 F/N-diagrammet visar riskbilden när trycksättning inte finns i byggnaden, men då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $5,8 \cdot 10^{-5}$ drabbade per år.

Resultatet blir att kurvan ligger under linjen, och det finns en marginal mellan riskkurvan och stödlinjen. Efter åtta drabbade personer är kurvan starkt avtagande.



Figur 5-19 F/N-diagrammet visar riskbilden när trycksättning inte finns i byggnaden och då brandvarnaren inte heller ljuder.

Medelrisk: $2,6 \cdot 10^{-3}$ drabbade per år.

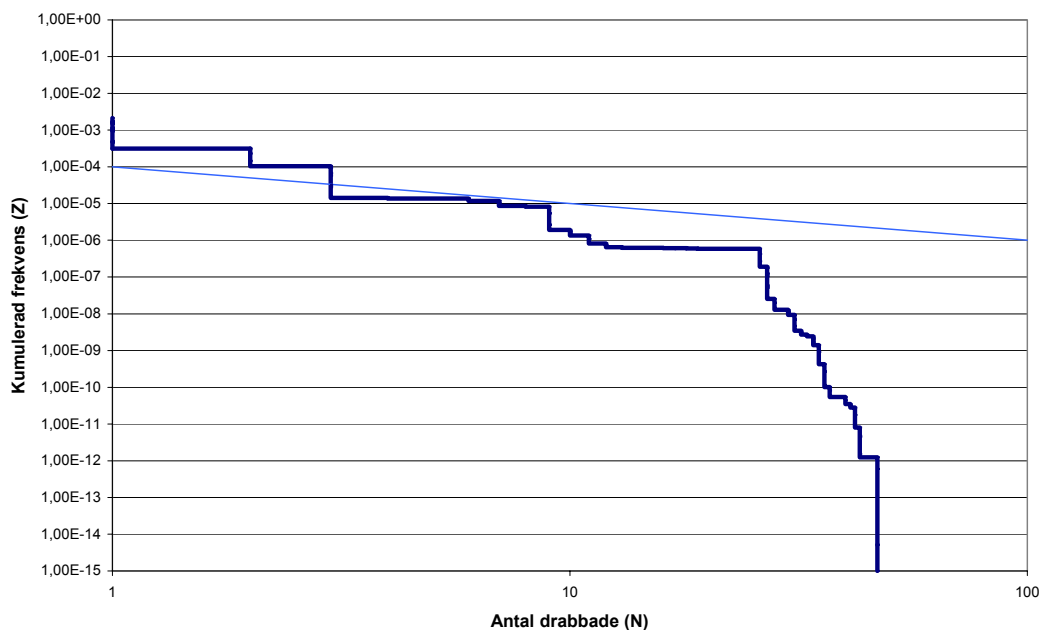
Risken är större än för situationen då brandvarnaren inte ljuder och kurvan som representerar risken, kryper över linjen då antalet drabbade är mindre än fyra stycken. Medelrisken ändras med en faktor 50.

5.6.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen innebär att de ingående variablerna i händelseträdet varieras med avseende på både konsekvens och sannolikhet. Det ger information om vilka parametrar som spelar stor roll för slutresultatet. Om resultatet påverkas i stor grad, då en variabel varieras, är den parametern särskilt viktigt. Den nya riskbilden presenteras i form av F/N-diagram och medelrisk. Värdering av risknivån sker i kapitel 5.7.

Konsekvenserna ändras - högre antal drabbade

Först betraktas risknivån om konsekvenserna ändras i analysen. Om konsekvenserna för händelserna är underskattade bör de antas vara större än tidigare. Utgångsläget är att skyddssystemen finns i byggnaden och risken presenteras för fallet då brandvarnaren inte ljuder (som ger större antal drabbade) och sedan tillkommer vissa skillnader mot innan. Då de övre våningarna fylls med brandgaser antas nu istället fler av de boende på dessa våningar utsättas för kritiska förhållanden, d v s 24 stycken istället för 8 stycken. Det tredje tillfället då räddningstjänsten har möjlighet att klara insatsen, men misslyckas, antas de drabbade öka med fem personer. I fallet då detta inträffar och trapphuset dessutom är rökfyllt, antas ytterligare tre individer drabbas. Utifrån detta komponeras en riskbild som framställs med hjälp av F/N-diagram (se figur 5.20) och medelrisk.



Figur 5-20 F/N-diagrammet visar riskbilden då skyddssystemen finns (men brandvarnaren ljuder ej) och vid en högre konsekvens än tidigare i analysen.

Medelrisk: $2.6 \cdot 10^{-3}$ drabbade per år.

Då det drabbas upp till fyra personer, ligger kurvan en bit ovan stödlinjen. Sedan tangerar kurvan linjen fram till ca 10 drabbade personer. Den ökade konsekvensen ger framförallt en högre risk då många personer drabbas om man jämför den lägre konsekvensen. Mellan 10-50 drabbade personer ligger risknivån på konstant nivå.

Förändring av sannolikheter (brandhiss saknas)

Nästa steg i känslighetsanalysen innefattar den del av analysen, som beaktar situationen då brandhiss *inte* finns i byggnaden. Om sannolikheterna (som leder till att räddningstjänsten *inte* klarar insatsen på grund av att brandhiss saknas) är överskattade görs en riskprofil med värden som istället ökar räddningstjänstens chans att lyckas med insatsen. I tabell 5.3 redovisas de förändrade sannolikheterna. Inom parentes anges det tidigare värdet och ett streck betyder att värdet är detsamma som förut.

Tabell 5-3 Ändringar av variabler som påverkar räddningstjänstens insats, i situationen då brandhiss saknas. Ändringarna sker till fördel för räddningsmanskäpet.

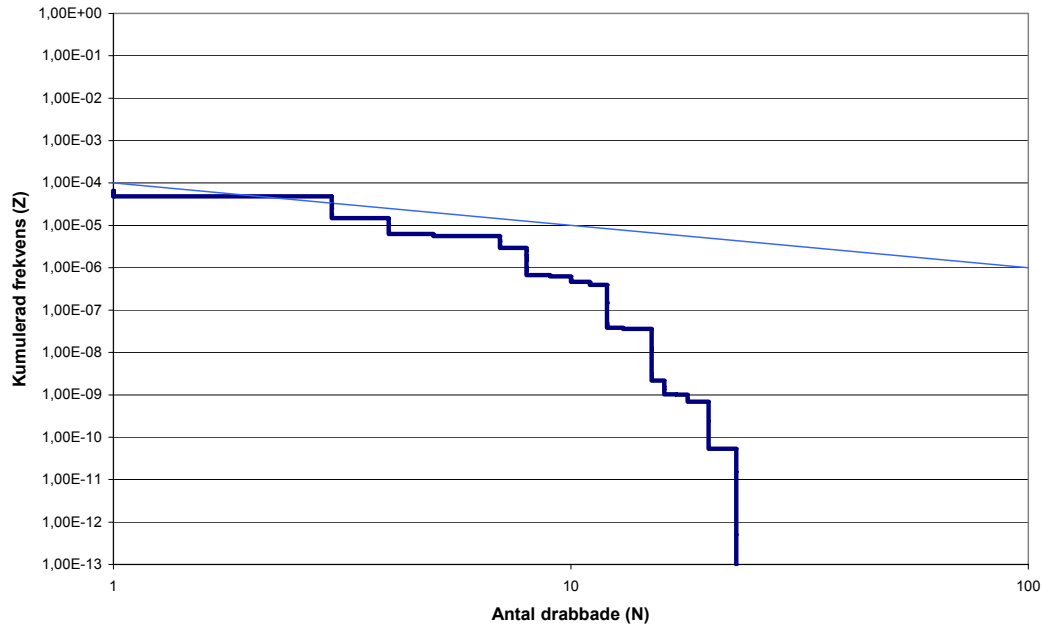
Variabel som ändras	Sannolikhet P våning 1-8	Sannolikhet P våning 9-16	Sannolikhet P våning 17-24
Räddningstjänsten klarar inte insats inom 12 minuter			
Trapphus blockeras av personer	- (0.05)	0.05 (0.10)	0.05 (0.15)
Brand för högt upp	- (0.01)	0.40 (0.60)	0.50 (0.80)
Räddningstjänsten klarar inte insats inom 22 minuter			
Trapphuset blockeras av personer	- (0.05)	0.05 (0.10)	0.05 (0.15)
Larm sker sent	0 (0.05)	0.01 (0.05)	0.01 (0.05)
Brand för högt upp	- (0.01)	0.10 (0.20)	0.20 (0.40)
Räddningstjänsten klarar inte insats inom 32 minuter			
Trapphuset blockeras av personer	- (0.05)	0.05 (0.10)	0.05 (0.15)
Brand för högt upp	- (0)	0.05 (0.10)	0.10 (0.20)

Värdena för de olika variablerna i tabell 5.3 utnyttjas för att bestämma sannolikheten för att räddningstjänsten inte klarar insatsen, i situationen då brandhiss saknas i byggnaden. Dessa värden är nu mindre än tidigare, vilket innebär att räddningstjänsten har större chans att klara insatsen (än tidigare i situationen då brandhiss saknas). Resultatet presenteras i tabell 5.4. Värden inom parentes representerar de tidigare värdena (då brandhiss inte finns) och ett streck anger ett oförändrat värde.

Tabell 5-4 Resultatet för de ändrade variablerna visar att räddningstjänsten har större chans att klara en insats.

Räddningstjänsten klarar inte insats inom:	Sannolikhet P våning 1-8	Sannolikhet P våning 9-16	Sannolikhet P våning 17-24
12 minuter	- (0.12)	0.53 (0.70)	0.69 (0.86)
22 minuter	0.06 (0.11)	0.20 (0.35)	0.29 (0.54)
32 minuter	- (0.05)	0.12 (0.21)	0.17 (0.34)

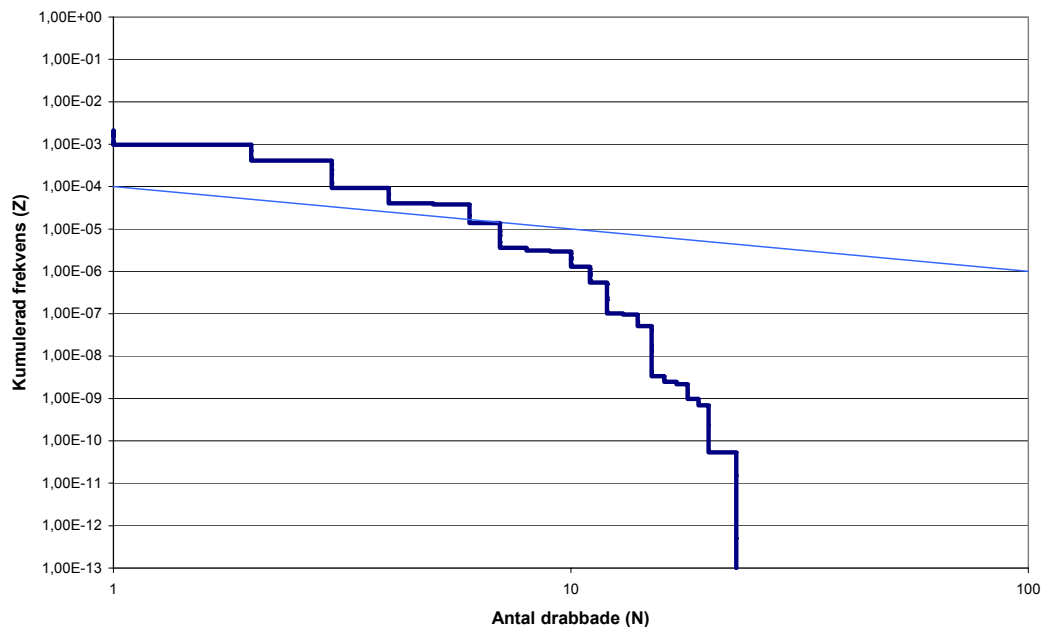
De beräknade sannolikheterna för räddningstjänstens insats används för att bilda en ny riskprofil. Övriga händelser ges samma sannolikheter som tidigare i analysen. De två fallen för brandvarnaren studeras, d v s då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder.



Figur 5-21 Riskbilden visas då räddningstjänsten har större chans att klara en insats än tidigare, i situationen då brandhiss saknas. Risken anges för då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $2.0 \cdot 10^{-4}$ drabbade per år.

Risckurvan ligger utmed hjälplinjen, då antalet drabbade är mindre än åtta personer. Endast en liten del av kurvan tar sig över linjen. Därefter fortsätter kurvan lutande, mot en mindre risknivå.



Figur 5-22 Riskbilden visas då räddningstjänsten har större chans att klara en insats än tidigare, i situationen då brandhiss saknas. Risken anges för då brandvarnaren ej ljuder.

Medelrisk: $3.7 \cdot 10^{-3}$ drabbade per år.

För fallet då brandvarnaren inte ljuder ökar risken, speciellt då de drabbade är mindre än åtta individer, och nivån är där klart över linjen. Vid en jämförelse med situationen då brandvarnaren ljuder ökar här medelrisken knappt 20 gånger.

Sannolikheter för alla ingående parametrar varierar

Känslighetsanalysen omfattar även en översiktlig studie över alla de variabler som ingår för att bilda händelserna i händelseträdet (förutom brandvarnare som redan har analyserats i två fall). För varje parameter ändras värdet och medelrisken ger sedan svar på hur resultatet påverkas. Medelrisken anges i förväntat antal drabbade per år. Eftersom byggnaden är uppdelad i tre delar visas resultatet genom att ange risken för varje del med åtta våningar, d v s våning 1-8, våning 9-16 och våning 17-24. Medelrisken för de tre olika delarna kan adderas för att erhålla risken för hela byggnaden, men det utförs inte här då syftet endast är att ge en jämförelse mellan tidigare och nya värden.

Analysen görs utifrån utgångsläget, d v s där sprinkler, brandhiss och trycksättning antas finnas och då brandvarnaren ljuder. De variabler som påverkar medelrisken, presenteras i tabeller 5.5- 5.7, där både tidigare och nya värden redovisas för att en jämförelse ska vara möjlig. De tidigare värdena anges inom parentes. Resterande variabler som inte finns med, har endast liten inverkan på resultatet då de varierar (till det dubbla respektive halva värdet) och de anses inte vara intressanta att presentera.

Våning 1-8

Tabell 5-5 I tabellen presenteras de parametrar som ger ett tydligt utslag på medelrisken då de varierar. Värdena gäller för våning 1-8.

Parameter som varierar	Sannolikhet P	Medelrisk N/år
Sprinkler fallerar	0.04 (0.05)	$4.2 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.06 (0.05)	$6.3 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
Självtängare felar	0.05 (0.10)	$4.2 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.20 (0.10)	$7.7 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
Läckor i dörr och vägg	0.075 (0.15)	$3.0 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.30 (0.15)	$1.1 \cdot 10^{-5}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
Brand upptäcks visuellt sent	0.01 (0.05)	$3.6 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.10 (0.05)	$7.3 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
Larmar sent då brand upptäckts	0.01 (0.05)	$2.9 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.10 (0.05)	$8.2 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
Ventilationslucka fallerar	0.05 (0.20)	$3.0 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)
	0.40 (0.20)	$8.3 \cdot 10^{-6}$ ($5.3 \cdot 10^{-6}$)

Våning 9-16

Tabell 5-6 I tabellen presenteras de parametrar som ger ett tydligt utslag på medelrisken då de varierar. Värdena gäller för våning 9-16.

Parameter som varierar	Sannolikhet P	Medelrisk N/år
Sprinkler fallerar	0.04 (0.05)	$1.0 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.06 (0.05)	$1.6 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Självtängare felar	0.05 (0.10)	$1.0 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.20 (0.10)	$1.8 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Läckor i dörr och vägg	0.075 (0.15)	$7.9 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.30 (0.15)	$2.7 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Brand upptäcks visuellt sent	0.01 (0.05)	$1.1 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.10 (0.05)	$1.5 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Larmar sent då brand upptäckts	0.05 (0.10)	$9.7 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.20 (0.10)	$1.9 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Ventilationslucka fallerar	0.05 (0.20)	$7.7 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.40 (0.20)	$2.0 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)

Våning 17-24

Tabell 5-7 I tabellen presenteras de parametrar som ger ett tydligt utslag på medelrisken då de varierar. Värdena gäller för våning 17-24.

Parameter som varierar	Sannolikhet P	Medelrisk N/år
Sprinkler fallerar	0.04 (0.05)	$1.1 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.06 (0.05)	$1.6 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Självtängare felar	0.05 (0.10)	$1.1 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.20 (0.10)	$1.9 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Läckor i dörr och vägg	0.075 (0.15)	$8.1 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.30 (0.15)	$2.7 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Brand upptäcks visuellt sent	0.01 (0.05)	$1.1 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.10 (0.05)	$1.5 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Larmar sent då brand upptäckts	0.05 (0.10)	$9.9 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.20 (0.10)	$2.0 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
Ventilationslucka fallerar	0.05 (0.20)	$7.8 \cdot 10^{-6}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)
	0.40 (0.20)	$2.0 \cdot 10^{-5}$ ($1.3 \cdot 10^{-5}$)

5.7 Riskvärdering

5.7.1 Kriterier för värdering

En riskvärdering underlättas om det finns acceptanskriterier att jämföra risknivån med. Det finns idag inga rådande kriterier som samhället har accepterat och infört som riktlinjer eller som lag. Det finns dock förslag från Räddningsverket och inom snar framtid är det sannolikt att kriterier utarbetas för flera områden och för olika beräkningsmodeller och blir allmänt accepterade. Förslagen som finns kan inte användas för att värdera risken för Rumlaborg eftersom risken där anges i antalet drabbade och de föreslagna acceptanskriterierna grundas på antalet omkomna. Bedömningen av risknivån utförs istället genom en jämförelse av riskbilden mellan de olika skyddssystemen och senare också mellan olika höjder på byggnader. För att underlätta för värderingen utnyttjas en hjälplinje i F/N-diagrammet och den ska *inte* tolkas som ett acceptanskriterium.

5.7.2 Värdering av risknivå

Värderingen av risknivån för Rumlaborg utförs genom en jämförelse mellan olika skyddssystem.

Till att börja med urskiljs en uppenbar skillnad i risknivå för händelsen med brandvarnare. Händelsen är uppdelad i två fall. Situationen för ”brandvarnare ljuder” svarar mot att ingen person utsätts för kritiska förhållanden och ”brandvarnare ljuder inte” motsvarar att en person drabbas. En jämförelse av dessa fallen visar att riskbilden förvärras och ger en avsevärt högre risk för situationen då brandvarnaren inte ljuder, oavsett med vilken kombination av skyddssystem som betraktas. Skillnaden är så ansevärd som upp till två tiopotenser. Det verkliga svaret på risknivån för byggnaden borde ligga något närmare situationen då ”brandvarnare ljuder” än ”brandvarnare ljuder inte”, då brandvarnaren förväntas ljuda till 73 %. Resultatet understryker vikten av att brandvarnare finns och fungerar i lägenheterna. Den fortsatta värderingen av risknivån för byggnaden genomförs utifrån fallet att brandvarnaren ljuder, d v s förutsättningen är att brandvarnare finns och fungerar.

För utgångsläget - skyddssystemen finns, når risken en del under stödlinjen. Utgångsläget ger den lägsta risken för byggnaden vid jämförelsen mellan de olika kombinationerna av skyddssystem.

I fallet där sprinkler inte finns, höjs risken för byggnaden. För mindre antal än ca 10 drabbade når kurvan området ovan linjen. Medelrisken höjs med en faktor 20 från utgångsläget. Det resultatet visar vikten av att sprinkler finns i huset. Riskbilden för byggnaden, utan brandhiss, blir snarlik bilden då sprinkler inte finns. Risknivån blir endast något lägre. Risken för byggnaden, utan både sprinkler och brandhiss, är påtagligt högre än utgångsläget. I F/N-diagrammet befinner sig kurvan, för mindre än 15 drabbade, ett stort stycke från stödlinjen. Medelrisken är nästan 400 gånger större än då skyddssystemen finns. Analysen visar att om båda dessa skyddssystem utesluts ur bygganden blir risken alltså påtagligt mycket högre.

När trycksättning av hisschakten utesluts ur analysen ökar risken ungefär med en faktor två, jämfört med risken då trycksättning finns. Det är framförallt för högre antal drabbade som risken ökar. Förklaringen till det är att trycksättningen ska försvåra brandgasspridning till de ovanliggande våningarna i byggnaden, och om spridningen ändå sker kan många människor långt från branden drabbas. Om byggnaden hade konstruerats med ett trapphus i kärnan, skulle det vara beroende av att trycksättningen fungerar för att förhindra brandgasspridningen. I Rumlaborg är läget dock annorlunda, eftersom trycksättningen i trapphuset ersätts av en balkong via det fria. Trycksättningen i Rumlaborg påverkar då endast spridning via hisschakten.

Under känslighetsanalysen studeras riskbilden då antalet drabbade antas vara högre än tidigare i analysen. F/N-diagrammet avslöjar att den största riskökningen sker för den högra delen av kurvan, högt antal drabbade, och där är risken redan relativt liten. Därför ökar medelrisken inte vid en jämförelse med den tidigare riskbilden (utgångsläget och då brandvarnaren inte ljuder). Känslighetsanalysen omfattar även en studie av då brandhiss saknas, eftersom värden som antagits till en början var osäkra. Den utförs för att se vilken risknivå som uppnås då räddningstjänsten lättare (än tidigare i analysen då brandhiss saknas) antas göra en insats i en hög byggnad. Den största delen av riskkurvan visar sig då nå ner till området under hjälplinjen.

I undersökningen då sannolikheten för de olika parametrarna varierar, erhålls en tydlig förändring av risken för några dem. De variablerna är: ”självstängare felar”, ”läckor i dörr och vägg”, ”larmar sent då brand upptäcks” och ”ventilationslucka fallerar”. Dessa är faktorer som påverkar risken i hög grad och de bör beaktas för att risken ska hållas på en låg nivå. Självstängare till dörrarna och begränsning av läckage är viktigt för att minimera risken för att brandgasspridning ska ske till andra brandceller. Det är också betydelsefullt att man larmar räddningstjänsten så snart branden upptäcks, för på det viset kommer personalen snabbt på plats och har bättre utgångsläge för att klara insatsen effektivt. Risken ökar om ventilationsluckan i trapphuset inte öppnar, eftersom det medför att problem då kan uppstå för de boende som utrymmer och för räddningstjänstpersonalen som ska göra insats.

5.8 Riskreducerande åtgärder

De riskreducerande åtgärderna delas in i tre element precis som de identifierade riskfaktorerna som delades in i tre riskkällor:

- Byggnadstekniska åtgärder
- Åtgärder för den mänskliga faktorn
- Organisatoriska åtgärder

Dessa tre element presenteras kortfattat. Flera av dem finns preciserade i kapitel 5.4, under vidtagna eller rekommenderade åtgärder i what if?-analysen. Där beskrivs bl a vilka åtgärder som kan bidra till att öka tillförlitligheten för de olika skyddssystemen.

5.8.1 Byggnadstekniska åtgärder

Analysen visar att sprinkler, brandhiss och brandvarnare är viktiga faktorer som kan öka säkerheten i byggnaden. Brandvarnare är ingen kostsam investering och den kan spara många liv. Nästintill samtliga dödsbränder inträffar i hemmet och år 2000 dog det 106 personer i brand. I 75 % av fallen saknade hemmen en fungerande brandvarnare och det borde väcka en tanke [57]. En del av de omkomna personerna kunde säkerligen ha räddats om hemmen varit utrustade med fungerande brandvarnare. Brandvarnare är en vidtagen åtgärd i Rumlaborg.

Sprinkler och brandhiss är desto dyrare investeringar, men minskar risken påtagligt för de boende. Då sprinkler ingår som skyddssystem i en byggnad, kan en reduktion av andra krav på byggnaden (d v s tekniska byten) genomföras. Dessa bör dock beaktas eftersom konsekvenserna kan bli stora i en hög byggnad då sprinklern inte fungerar tillfredsställande. En studie bör initieras för att bedöma hur dessa tekniska byten utförs och hur de borde utföras i höga byggnader för att hålla en tillräckligt hög säkerhetsnivå. Bör sprinkler vara en förutsättning eller endast ett extra skydd i en hög byggnad?

För att minska brand- och brandgasspridning i byggnaden är det betydelsefullt att trycksätta schakt och täta genomföringar. Det är även viktigt att förse dörrar med dörrstängare [38]. Risken för vertikal brandspridning via fasad och fönster bör minskas genom lämplig konstruktion (t ex tillräckligt avstånd mellan fönster, begrunda val av fönster och tjocklek på bjälklaget).

Det kan uppstå problem då det endast finns ett trapphus. Räddningstjänsten tar samma väg upp (om brandhiss inte utnyttjas) som de utrymmande och om ett trapphus av någon anledning blir blockerat finns ingen annan utrymningsväg att tillgå för de boende och

personalen. En diskussion förekommer i branschen, om höga byggnader verkligen ska få utformas med ett enda trapphus. Analysen i rapporten grundas på förutsättningarna för Rumlaborg, som inrymmer relativt få personer, vilket motiverar att en studie av antalet trapphus inte utförs. En framtida undersökning av detta är dock intressant, särskilt för byggnader där personantalet är högt. I remissen till de nya bestämmelserna (byggreglerna som träder ikraft under 2002) är förslaget att byggnader med endast *ett* trapphus ska begränsas till 16 våningar om inte en riskanalys kan visa att säkerheten är tillräcklig med endast ett trapphus.

Utrymningen som sker i ett trapphus kan underlättas genom att räddningstjänsten har möjlighet att kommunicera med utrymmade personer via ett högtalarsystem. Det kan annars vara speciellt komplicerat att utföra en totalevakuering i en hög byggnad [15, kap 4].

5.8.2 Åtgärder för den mänskliga faktorn

Den mänskliga faktorn ligger till grund för flera problem som kan uppstå. När problemen uppmärksammas kan de även åtgärdas. Information till de boende är en viktig faktor för att uppnå ett säkerhetstänkande. Innebörden är att personerna ska värna om sin och andras trygghet genom att t ex minska risken för brandtillbud (ljus och cigaretter o s v), inte låta dörrar stå uppställda, kolla regelbundet funktionen på brandvarnaren, ha uppsikt över om obehöriga vistas i huset. Det sistnämnda tillsammans med låsta teknikutrymmen kan minska risken för sabotage, t ex anlagd brand [15, kap 10].

De boende bör även upplysas om hur utrymningsstrategin ska tillämpas, samt hur de ska agera vid en eventuell evakuering. De bör även få vara delaktiga i övningar, för att klara en effektiv evakuering [11], [44]. En utrymning underlättas också om räddningstjänsten kan kommunicera med personerna i trapphusen via högtalare [15, kap 4]. Evakuering av handikappade, äldre och sjuka måste beaktas, då de eventuellt inte klarar att fullborda en utrymning från hög höjd. Det kan ske t ex genom en inrymningszon, som är en säker plats i byggnaden där dessa personer kan uppehålla sig tills räddningstjänsten eller andra kan evakuera dem till markplan [11], [14, kap 7].

5.8.3 Organisatoriska åtgärder

En väl utförd kvalitetssäkring ökar säkerheten i byggnaden när den står klar för att tas i bruk. Det minskar risken för stora konsekvenser om en brand uppstår, t ex brand- och brandgasspridning via otätade genomföringar. I höga byggnader förlitar man sig ofta på funktionen av vissa skyddssystem för att erhålla en rimlig säkerhetsnivå. Det är då av vikt att skyddssystemen fungerar tillfredsställande. Där spelar tillsynen en viktig roll, så att underhåll av systemen med tekniska beståndsdelar utförs och att kontroller utförs regelbundet, i form av tester och provning på plats. Felfunktion bör åtgärdas omgående. Genom att rapportera dessa och de tillbud som inträffar, t ex brand och olyckor, kan en uppföljning av dem ske för att förbättra säkerheten och man lär sig då av de fel som uppstått och de misstag som begåtts [15, kap 13].

Intern riskhantering är något som utvecklas alltmer och det främjar rutinerna för att hantera risker och kan gynna effektiviteten för t ex skötsel, tillsyn och uppföljning.

Riskkommunikation och erfarenhetsåterföring i organisationen kan hjälpa till att skapa ökad säkerhet på ett optimalt sätt. Räddningstjänsten bör vara med i dialogen för

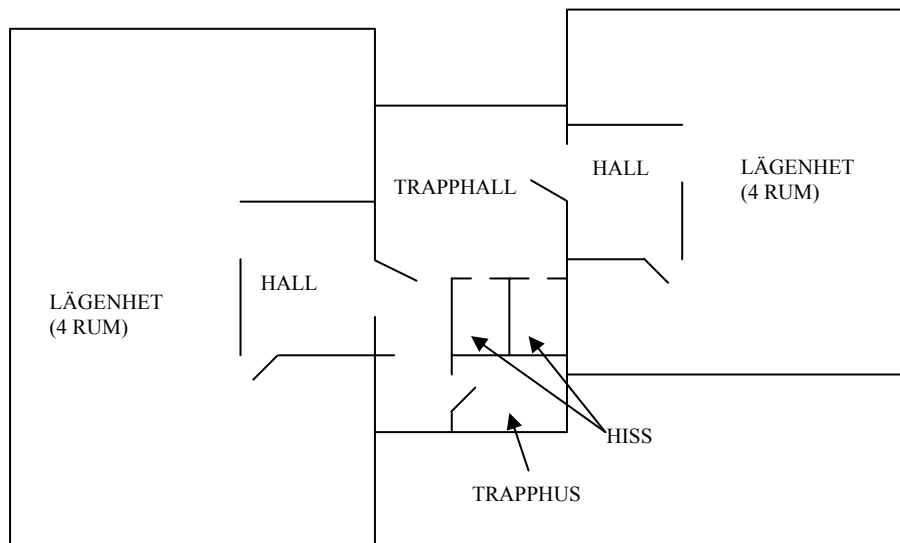
riskkommunikation. De bör också få utbildning och utföra övningar för att vara förberedda på en insats i den höga byggnaden.

De åtgärder som behövs för att reducera en risknivå, kräver en ansträngning för att kunna genomföras. Detta kan ske genom en åtgärdsplan som ska underlätta för att implementera åtgärderna och skapa struktur i organisationen. Planen omfattar vilka åtgärder som ska utföras, varför de är viktiga, målet med åtgärderna och hur/på vilket sätt som de ska uppnås. Det är svårt att överföra åtgärder i form av text på papper, till något som ska fungera i verkligheten. Det är då viktigt med kommunikation mellan de delar av organisationen som arbetar med implementeringen. På det viset får man en helhetsbild av den säkerhetsnivå som ska skapas och missförstånd kan reduceras. Det bör kontinuerligt ske en uppföljning av arbetet.

6 RISKANALYS AV LÅG BYGGNAD – 8 VÅNINGAR

6.1 Objektsbeskrivning

Objektet som representerar en låg byggnad är fiktiv. Byggnaden är liksom den höga byggnaden ett flerbostadshus med lägenheter, men består av 8 våningar istället för 24 våningar. Den antas ha samma planlösning som Rumlaborg (det höga huset) och lägenheterna omfattar även här 4 rum och kök (se figur 6.1 för en planskiss). Förutsättningarna för det låga huset antas efterlikna det höga, eftersom en jämförelse ska möjliggöras. Det som skiljer sig mellan dessa är dock höjden, och därav de skyddssystem som antas finnas i respektive byggnad.



Figur 6-1 Planskiss över den låga byggnaden.

Utrymning via fönster antas inte vara möjlig och trapphuset utgör då den enda utrymningsvägen. Trapphuset utförs då som TR2, enligt Boverkets Byggregler, eftersom byggnaden är ett bostadshus och inte har fler än åtta våningar [2]. Enligt reglerna ska det finnas en trapphall mellan lägenheterna och trapphuset. Den behöver inte vara öppen mot det fria (t ex balkong) som slussen i den höga byggnaden måste. Det ska dock finnas en dörr till trapphuset (som ska försvåra brandgasspridning) precis som för den höga byggnaden. Stommen består av betong, precis som Rumlaborg. Utrymningsstrategin är den samma som för Rumlaborg, d v s brandvarnare finns i lägenheterna och då en brand utbryter ska de boende i utsatt lägenhet utrymma. Resterande människor i huset förväntas stanna kvar i sina lägenheter där de anses vara trygga.

Då byggnaden inte överstiger åtta våningar görs antagandet att sprinkler, brandhiss och trycksättning inte fordras för att uppnå erforderlig säkerhet.

6.2 Förutsättningar

Som nämnts tidigare är förutsättningarna för den låga byggnaden, i möjlig mån, lik förutsättningarna för den höga. De presenteras här kort, men kapitel 5.1-5.2 (beträffande Rumlaborg) beskriver förutsättningarna mer utförligt.

Lös inredning bör inte förekomma i trapphallen vid Tr2 [7]. Därav studeras inte fallet att brand uppstår i det utrymmet, utan analysen grundar sig på brand i en lägenhet. Dörrstängare antas finnas på alla lägenhetsdörrar. Det minskar risken för att brandgasspridning sker till andra utrymmen än brandcellen som är utsatt för brand. Under tiden som analysen omfattar, antas bärverket klara påfrestningarna som en lägenhetsbrand utsätter det för. Fara för kollaps av byggnaden antas inte förekomma. Risken för spridning via ventilationssystemet försummas, då systemet antas vara konstruerat till att effektivt förhindra brand- och brandgasspridning. Ventilationssystemet i den låga byggnaden antas heller inte skilja sig nämnvärt från den höga byggnaden.

6.3 Händelseträdsanalys

Riskanalysen av 8-våningshuset börjar med en händelseträdsanalys. För att kunna jämföra risken mellan en låg och en hög byggnad utförs utredningen på motsvarande sätt som för 24-våningsbyggnaden. Några förutsättningar skiljer sig dock mellan de två byggnaderna och det krävs vissa ändringar i analysen. Som exempel är den låga byggnaden inte utrustad med sprinkler, trycksättning eller brandhiss och trapphallen är inte öppen mot det fria.

6.3.1 Riskanalysmetod

Riskanalysmetoden skiljer sig inte nämnvärt från metoden som utnyttjas för Rumlaborg. Den enda skillnaden är att det låga huset endast består av *en* del (med åtta våningar) och den höga byggnaden består av *tre* delar (med åtta våningar per del).

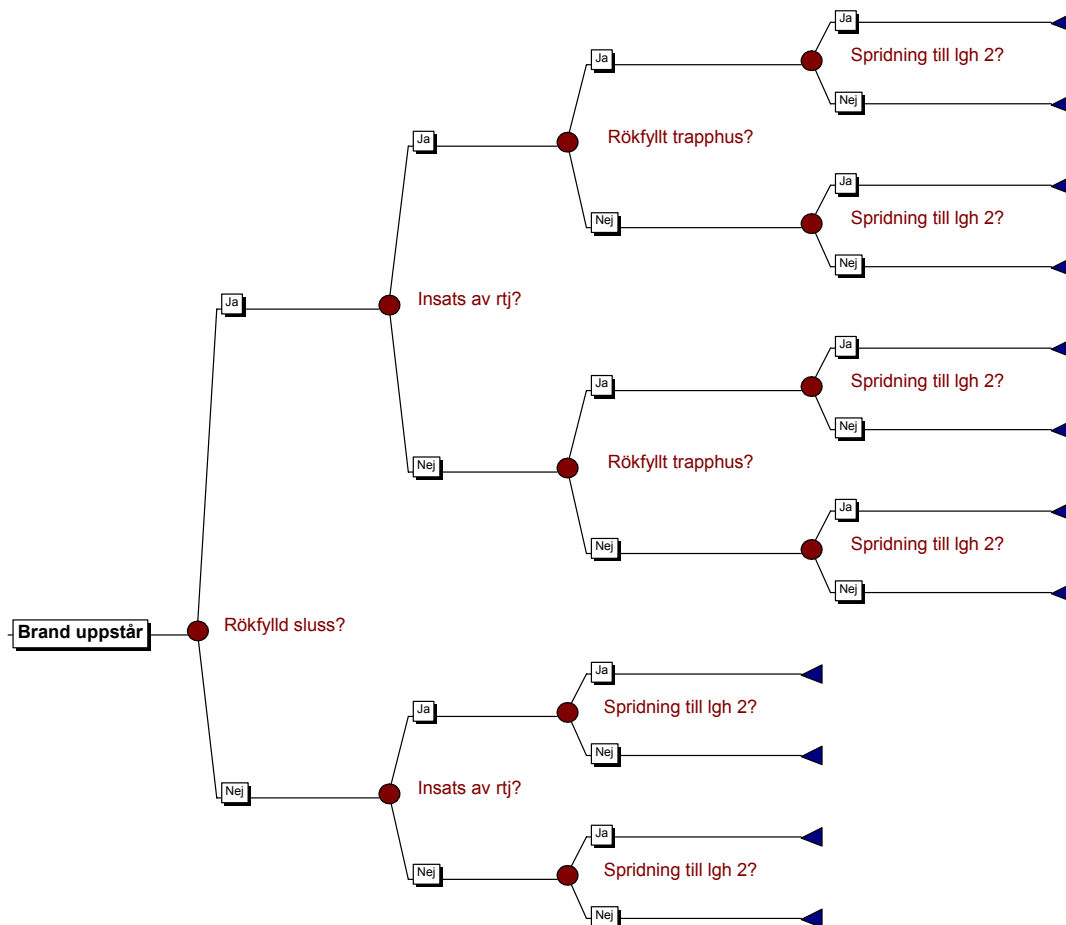
För att kunna jämföra risken mellan det låga huset och den höga byggnaden bestäms risken för tre låga hus. Det resulterar i totalt 24 våningar precis som för den höga byggnaden.

6.3.2 Ingående händelser i händelseträdet

Händelserna i trädet är samma som för Rumlaborg, förutom att grenen med sprinkler faller bort. En resumé komponeras över de händelser som återstår, för detaljerad information se kapitel 5.5.2.

1. Brand uppstår i en lägenhet.
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?
3. Brandgasspridning sker till trapphallen?
4. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 12 min?
5. Brandgaser blockerar trapphuset?
6. Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?
7. Brandspridning sker till lägenhet 2?
8. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?
9. Brandgaser blockerar trapphuset senare?
10. Brandgasspridning sker till de övre våningarna?
11. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 22 min?
12. Brandspridning sker till lägenhet 3?
13. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?
14. Brandgaser blockerar trapphuset senare?
15. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 min?

Händelseträdet består i sin helhet av alla dessa händelser. Eftersom trädet blir enormt stort skapas här istället en översiktlig bild av trädet, där de första händelserna som beskriver förloppet ingår (se figur 6.2).



Figur 6-2 Förenklat händelsetråd då brand uppstår, med de händelser som påverkar brandförloppet.

Händelseträdet motsvarar brand i *en* lägenhet och risken kan bestämmas med hjälp av slutfrekvens och slutkonsekvens för alla scenarierna i händelseträdet. För varje lägenhet (16 stycken) beräknas risken på motsvarande sätt. För att erhålla risken för hela huset adderas risken för alla lägenheterna (detta beskrivs i kap 6.3.5).

6.3.3 Bestämning av sannolikheter

Händelseträdet som ligger till grund för analysen av den höga byggnaden svarar mot trädet som skapas för den låga byggnaden, förutom att grenen som avser sprinklerns funktion saknas. Händelserna i trädet bestäms med avseende på sannolikhet. I flera fall är händelsernas sannolikheter samma som för det höga huset, men för de övriga måste värdena anpassas till den låga byggnaden. I analysen görs ingen skillnad mellan de åtta olika våningarna, utan samma värden antas för alla (jämför med den höga byggnaden där huset delas upp i tre delar, med åtta våningar per del och varje del ges samma värden). Den låga byggnaden består således av en del med åtta våningar. Den valda siffran representerar ett medelvärde för våningarna.

Sannolikheten eller frekvensen för de två första händelserna ("brand uppstår i lägenhet" och "brandvarnare ljuder inom rimlig tid") beräknas direkt med hjälp av statistik. Resterande händelser bestäms genom felträd där händelserna utgör topphändelserna i felträden och deras sannolikheter bestäms med hjälp av bashändelserna. Bashändelsernas sannolikheter bestäms främst utifrån ett statistiskt underlag. I annat fall antas värdena efter diskussion med personer i branschen. Felträden som konstruerats för den höga byggnaden utnyttjas även för den låga byggnaden, om bashändelsernas sannolikheter anpassas till de nya omständigheterna. Felträden presenteras i appendix B.

För att urskilja vilka parametrar som ges samma värden som tidigare, d v s i analysen av Rumlaborg, är dessa markerade med en stjärna (*). För referenser till dessa värden hänvisas till analysen av den höga byggnaden, kapitel 5.5.3. Beräkningsgången för sannolikheterna presenteras i appendix C (siffrorna gäller dock för den höga byggnaden).

1. *Brand uppstår i lägenhet:*

- ✘ Antal bränder per lägenhet och år i flerbostadshus.

$$Z = 1.50 \cdot 10^{-3} \text{ bränder per lägenhet och år} *$$

- ✘ Brand släcks ej manuellt och slocknar ej.

$$P = 0.59 *$$

$$\Rightarrow Z_1 = 8.9 \cdot 10^{-4} \text{ bränder per lägenhet och år} *$$

2. *Brandvarnare ljuder inom rimlig tid:*

- ✘ Brandvarnare finns i lägenheterna (installeras i ett initialt skede).

$$P = 1 *$$

- ✘ Andelen brandvarnare som antas vara felmonterade (t ex felplacerade).

$$P = 0.1 *$$

- ✘ Andelen brandvarnare som efter en längre tid antas ha blivit nermonterade.

$$P = 0.10 *$$

- ✘ Andelen som fungerar vid test av brandvarnare som finns.

$$P = 0.90 *$$

$$\Rightarrow P_2 = 0.73 *$$

3. *Brandgasspridning sker till trapphallen (se felträd i appendix B.3):*

- ✘ Dörr från lägenhet till trapphall står uppställd.

$$P_A = 3.0 \cdot 10^{-3} *$$

- ✘ Självstängare felar (då personer utrymmer från lägenheten).

$$P_B = 0.10 *$$

- ✘ Läckor och dörr i väggkonstruktion ger brandgasspridning.

$$P_C = 0.15 *$$

- ✘ Väggkonstruktion från lägenhet till trapphall ger brandgasspridning.

$$P_D = 0.025 *$$

$$\Rightarrow P_{3,G} = 0.26 *$$

4. **Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 12 minuter (se felträd i appendix B.4):**

- ✘ Brandvarnare ljuder ej inom rimlig tid. Det kan påverka tiden till upptäckt av brand och hur snabbt larm sker till räddningstjänsten. I händelseträdet finns den händelsen med som nummer 2, ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid”. Det har antingen inträffat eller inte inträffat (beroende av ja- eller nejgrenen i händelseträdet). Därför antas ett värde för när det har inträffat och ett värde för då det inte har inträffat.
 $P_A = 0$ (då brandvarnaren ljuder inom rimlig tid)*
 $P_A = 1$ (då brandvarnaren inte ljuder inom rimlig tid)*
- ✘ Sen visuell upptäckt av brand.
 $P_B = 0.05$ *
- ✘ Räddningstjänsten larmas sent, trots att branden har uppmärksammats. Värdet antas vara samma som för våning 1-8 i analysen av den höga byggnaden.
 $P_C = 0.05$ *
- ✘ Sprinkler fallerar (vilket alltid sker då den inte finns).
 $P_D = 1$
- ✘ Larmöverföring från sprinklerfunktionen uteblir. Sprinkler finns ej i analysen.
 $P_E = \text{försumbar}$ *
- ✘ Branden startar för högt upp för effektiv insats via trapphuset. Värdet antas vara samma som för våning 1-8 analysen av den höga byggnaden.
 $P_F = 0.01$ *
- ✘ Trapphuset blockeras av människor. Värdet antas vara mindre än för den höga byggnaden, då det låga huset inrymmer färre boende.
 $P_G = 0.01$
- ✘ Brandhiss är ur funktion (sker alltid då den inte finns).
 $P_H = 1$
- ✘ Tryckhöjande pump för släckvattnet stoppar. Det sker aldrig eftersom pump inte behövs (förutom räddningstjänstens fordonspump) för våning 1-8 och samma värde antas som för de våningarna i den höga byggnaden.
 $P_I = 0$ *
- ✘ Otillräcklig vattenförsörjning från kommunal ledning.
 $P_J = 1.0 \cdot 10^{-3}$ *
- ✘ Komponent i systemet sönder (t ex rörbrott).
 $P_K = \text{försumbar}$ *
- ✘ Felinställd vattenreducering antas inte kunna ske eftersom räddningstjänsten använder sin egen utrustning. Det antagna värdet motsvarar det som representerar våning 1-8 i det höga huset.
 $P_L = 0$

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är 1- $P_{4,v}$.

$$P_{4,v} = 0.07 \text{ (då brandvarnaren ljuder inom rimlig tid)}$$

$$P_{4,v} = 0.12 \text{ (då brandvarnaren inte ljuder inom rimlig tid)}$$

Händelsen har olika värden beroende om brandvarnaren ljuder eller ej. Det förenklas genom att räkna ut ett viktat medelvärde mellan dessa. Det viktade medelvärdet är det som utnyttjas för vidare beräkningar i analysen. Se appendix C.5.1 för ett exempel på

beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

$$\Rightarrow P_{4,V} = 0.084$$

5. **Brandgaser blockerar trapphuset (se felträd i appendix B.5):**

- ✘ Brandgasspridning till slussen måste ha inträffat eftersom spridning till trapphuset förutsätter att slussen är rökfylld (händelsen finns inte i scenariot där brandgasspridning till slussen inte har skett tidigare, dvs i nej-grenen).

$$P_A = 1^*$$

- ✘ Läckor ger brandgasspridning från trapphallen till trapphuset.

$$P_B = 0.075^*$$

- ✘ Räddningstjänstens slangar som dras genom trapphuset ger dörr på glänt.

$$P_C = 0.20^*$$

- ✘ Dörr står uppställd till trapphuset.

$$P_D = 0.03^*$$

- ✘ Självstängare fungerar inte.

$$P_E = 0.10^*$$

- ✘ Möjlighet för röken att nå trapphuset påverkas inte av om vinden ligger på mot trapphuset, eftersom det inte finns någon balkong och det krävs heller inte att det uppstår ett sug in till trapphuset. Spridning antas alltså ske utan dessa parametrar.

$$P_N = 1$$

- ✘ Lucka för ventilation av brandgaser öppnar ej.

$$P_I = 0.20^*$$

- ✘ Aktivering (av ventilationslucka) av räddningstjänsten uteblir.

$$P_J = 0.01^*$$

$$\Rightarrow P_{5,Q} = 0.074$$

6. **Brandgasspridning sker till lägenheten mitt emot (se felträd i appendix B.6):**

- ✘ Spridning sker till trapphallen. Spridning till lägenheten mitt emot förutsätter att trapphallen är rökfylld (händelse 3 har inträffat).

$$P_A = 1^*$$

- ✘ Dörr står uppställd från lägenhet till trapphall.

$$P_B = 3.0 \cdot 10^{-3}^*$$

- ✘ Läckor ger brandgasspridning in till lägenheten.

$$P_C = 0.075^*$$

$$\Rightarrow P_{6,D} = 0.078^*$$

7. **Brandspridning sker till lägenhet 2 (se felträd i appendix B.7):**

- ✘ Brandspridning via bjälklag.

$$P_B = \text{försumbar}^*$$

- ✘ Brandspridning via fasad och fönster antas ske med stor sannolikhet.

$$P_A = 0.95^*$$

Här sker en förenkling för att scenarierna i händelseträdet ska blir färre. Sannolikheten höjs från 0.95 till 1, vilket medför att nej-grenen för ”brandspridning sker till lägenhet 2” inte längre finns och antalet scenarier reduceras.

$$\Rightarrow P_{7,C} = 1 *$$

8. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid, se punkt 2:

$$\Rightarrow P_8 = 0.73 *$$

9. Brandgaser blockerar trapphuset senare:

- ✘ Brandgasspridning sker till trapphall från lägenhet 2 eller 3.
 $P_A = 0.45 *$
- ✘ Aktivering (av ventilationslucka) av räddningstjänsten uteblir.
 $P_J = 5.0 \cdot 10^{-3} *$
- ✘ De övriga variablerna är samma som tidigare, där brandgaser blockerar trapphuset i ett tidigare skede, se punkt 5.

$$\Rightarrow P_{9,Q} = 0.032$$

10. Brandgasspridning sker till de övre våningarna (se felträd i appendix B.8):

- ✘ Trapphall vid brandlägenheten fylls med brandgaser. Händelse 3 anger om det sker eller ej (ja- eller nejgrenen för händelsen i händelseträdet). Om det inte har skett är det ändå möjligt att någon trapphall fylls senare, då branden kan ha spridits till lägenhet 2 eller 3.
 $P_A = 1$ (då trapphallen fylls i ett tidigt skede) *
 $P_A = 0.45$ (då trapphallen fylls i ett senare skede) *
- ✘ Läckkytor ger brandgasspridning till vertikala schakt.
 $P_B = 0.30 *$
- ✘ Trycksättning av hisschakt uteblir. Sker alltid då det inte finns.
 $P_C = 1$
- ✘ Dörrar till lägenheter står uppställda.
 $P_D = 3.0 \cdot 10^{-3} *$
- ✘ Läckkytor ger brandgasspridning till lägenheterna (t ex runt dörrar).
 $P_E = 0.075 *$

Brandgaserna sprider sig till de våningarna som är ovan neutralplanet, ju högre upp desto mer spridning på grund av att tryckdifferensen blir större. Skorstenseffekten är inte lika kraftig i låga byggnader som i höga byggnader och det antas uppstå kritiska förhållanden i 30 % av volymen ovan neutralplanet.

$$P_{10,I} = 0.023 \text{ (då trapphallen fylls i ett tidigt skede)}$$

$$P_{10,I} = 0.01 \text{ (då trapphallen fylls i ett senare skede)}$$

Händelsen har olika sannolikheter beroende om det har skett brandgasspridning till trapphallen innan eller ej. För att göra en förenkling av detta beräknas ett viktat

medelvärde mellan dessa som används fortsättningsvis i analysen. Se appendix C.5.2 för exempel på beräkningsgången för det viktade medelvärdet.

$$\Rightarrow P_{10,I} = 0.013$$

11. Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 22 minuter (se felträd i appendix B.4):

✘ Visuellt upptäckt av brand och larm antas redan ha skett vid den här tidpunkten. Brandvarnare antas heller inte påverka sannolikheten för att larm ska ske till räddningstjänsten.

$$P_Q = 0$$

✘ Branden är för högt upp för en effektiv insats via trapphuset. Värdet antas vara lågt för byggnader som inte överstiger åtta våningar och siffran motsvarar våning 1-8 för den höga byggnaden.

$$P_F = 0.01 *$$

✘ De övriga variablerna är samma som tidigare under punkt 4.

De värden som erhålls gäller för "räddningstjänsten klarar **inte** insatsen" och i händelseträdet ingår händelsen "räddningstjänsten klarar insatsen". Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{11,V}$.

$$\Rightarrow P_{11,V} = 0.021$$

12. Brandspridning sker till lägenhet 3, se punkt 7:

$$\Rightarrow P_{12,C} = 1*$$

13. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid, se punkt 2:

$$\Rightarrow P_{13} = 0.73 *$$

14. Brandgaser blockerar trapphuset senare, se punkt 9:

$$\Rightarrow P_{14} = 0.032$$

15. Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 32 minuter (se felträd i appendix B.4):

✘ Visuellt upptäckt av branden och larm antas redan ha skett. Brandvarnaren antas inte påverka tiden till larm på grund av förfluten tid.

$$P_Q = 0 *$$

✘ Branden är för högt upp för effektiv insats via trapphuset. Värdet antas vara samma som för våning 1-8 i den höga byggnaden.

$$P_F = 0 *$$

- ✘ Sannolikheten för att räddningstjänsten ej har tillräckligt med vatten, antas ha halverats från tidigare, d v s punkt 4.

$$P_T = 5.0 \cdot 10^{-4}$$

- ✘ De övriga parametrarna är samma som tidigare under punkt 4.

De värden som erhålls gäller för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” och i händelseträdet ingår händelsen ”räddningstjänsten klarar insatsen”. Det innebär att sannolikheten som utnyttjas senare vid beräkningarna är $1 - P_{15,V}$.

$$\Rightarrow P_{15,V} = 0.01$$

Alla händelser i händelseträdet är nu definierade med avseende på frekvens eller sannolikhet. Kombinationer av dessa bildar scenarierna i händelseträdet. En sammanfattande tabell över sannolikheterna för varje händelse som kan inträffa då brand uppstår, presenteras i tabell 6.1. Värdena som erhöles för ”räddningstjänsten klarar **inte** insatsen” skrivs om på formen ”räddningstjänsten klarar insatsen”, dvs $(1 - P_{rtj\ klarar\ inte})$.

Initialhändelse:

1. Brand uppstår i en lägenhet: $Z = 8.9 \cdot 10^{-3}$ bränder per lägenhet och år.

Tabell 6-1 Sammanställande tabell som redovisar de olika händelsernas sannolikheter.

Händelse	Sannolikhet P
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73
3. Brandgasspridning sker till trapphall	0.26
4. Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min	(1-0.084)
5. Brandgas blockerar trapphuset	0.074
6. Brandgasspridning till lägenhet mitt emot	0.078
7. Brandspridning sker till lägenhet 2	1
8. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73
9. Brandgas blockerar trapphuset senare	0.032
10. Brandgasspridning till de övre vån	0.013
11. Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min	(1-0.021)
12. Brandspridning sker till lägenhet 3	1
13. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid	0.73
14. Brandgas blockerar trapphuset senare	0.032
15. Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min	(1-0.01)

6.3.4 Bestämning av konsekvenser

Konsekvensen för de olika händelserna i händelseträdet antas vara samma som för respektive händelse i analysen av den höga byggnaden, förutom på en punkt. Då brandgaser sprids till de övre våningarna antas antalet drabbade vara en tredjedel av antalet för den höga byggnaden, pga att huset är lägre. En avrundning uppåt ger då att tre personer drabbas. De övriga konsekvenserna beskrivs utförligt i analysen för den höga byggnaden, i kapitel 5.5.4.

Hur många som drabbas i den sista händelsen, d v s om räddningstjänsten klarar insatsen eller ej inom 32 minuter, skulle kunna skilja sig från den höga byggnaden. För Rumlaborg antas fem personer drabbas om trapphuset är rökfyllt och annars antas tre stycken drabbas. Dessa siffror är eventuellt lägre för den låga byggnaden då där inryms färre människor. En

undersökning som ingår i känslighetsanalysen (kapitel 6.4.2) visar dock att risken påverkas ytterst marginellt om antalet personer minskas för den parametern. Skillnaden som uppstår utgörs dessutom endast av delen som gäller högt antal drabbade, vilket redan har en väldigt låg risk. På grund av detta accepteras antagandet om att de konsekvenserna är samma på den punkten, för både den höga och den låga byggnaden.

Förenklingen av händelsen ”brandvarnare ljuder inom rimlig tid” som utförs för den höga byggnaden utnyttjas även för den låga byggnaden (se kap 5.5.5). Det innebär att risknivån för byggnaden bestäms för två situationer:

Brandvarnare ljuder: 0 personer utsätts för krisiska förhållanden

Brandvarnare ljuder inte: 1 person utsätts för krisiska förhållanden

Riskbilden presenteras för både situationen då brandvarnare ljuder och då den inte ljuder. Det är då möjligt att studera hur mycket brandvarnaren påverkar risken. Byggnadens risknivå ligger något närmare den riskbild som erhålls för situationen då brandvarnare ljuder, eftersom chansen att brandvarnaren ljuder vid en brand är 73 %.

En sammanfattning över konsekvenserna för händelserna i händelseträdet presenteras i tabell 6.2. Tabellen anger händelserna som kan inträffa efter att brand har uppstått, samt hur många personer som antas drabbas för respektive händelse.

Initialhändelse:

1. Brand uppstår i en lägenhet.

Tabell 6-2 Konsekvenser för de olika händelserna i trädet som följer efter att brand uppstår i en lägenhet.

Händelse	Ja-gren	Nej-gren
	(max antal drabbade) N	(max antal drabbade) N
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
3. Brandgasspridning sker till trapphall?	0	0
4. Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0	0
5. Brandgas blockerar trapphuset?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
6. Brandgasspridning till lägenhet mitt emot?	3	0
7. Brandspridning sker till lägenhet 2?	3*	0
8. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
9. Brandgas blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
10. Brandgasspridning till de övre våningarna?	3	0
11. Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0	0
12. Brandspridning sker till lägenhet 3?	3*	0
13. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
14. Brandgas blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
15. Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0	5**

* Då trapphuset inte är rökfyllt blir konsekvensen mindre och beror av brandvarnaren:

Brandvarnaren ljuder => N= 0

Brandvarnaren ljuder ej => N= 1

** Då trapphuset inte är rökfyllt:

=> N= 3

6.3.5 Bestämning av risk

Risken då brand uppstår i en lägenhet beräknas på motsvarande sätt som för Rumlaborg (se kap 5.5.5) och risken beräknas för då brand uppstår i varje lägenhet i byggnaden även i detta fall. För att bestämma risken för hela huset summeras risken för alla 16 lägenheter.

Risken beräknas även för tre hus (summera risken för hus hus) för att det ska bli möjligt att göra en jämförelse i risknivå med den höga byggnaden. Tre hus blir totalt 24 våningar vilket motsvarar antalet i den höga byggnaden. En hög byggnad inrymmer då lika många personer som tre låga hus.

6.3.6 Osäkerheter

Analysen är förenad med osäkerheter som motsvarar de fyra första punkterna som identifierats i analysen av den höga byggnaden. De beskrivs utförligt i kapitel 5.5.6. Den sista osäkerheten som nämns i det kapitlet behandlar endast höga byggnader och därmed ingår den inte i detta sammanhang.

6.4 Risknivå – medelrisk och F/N-diagram

Riskenivån för 8-våningsbyggnaden studeras genom F/N-diagram och medelrisk, precis som för Rumlaborg. För att lätt uppfatta vilken nivå risken ligger på är F/N-diagrammen även här försedda med en hjälplinje, men **den representerar dock inte ett riskkriterium**. Undersökningens utgångsläge gäller för de omständigheter som beskrivs under objektsbeskrivning och förutsättningar. Beräkningsgången för att framställa F/N-diagram redovisas i appendix D (där beräkningen sker för den höga byggnaden).

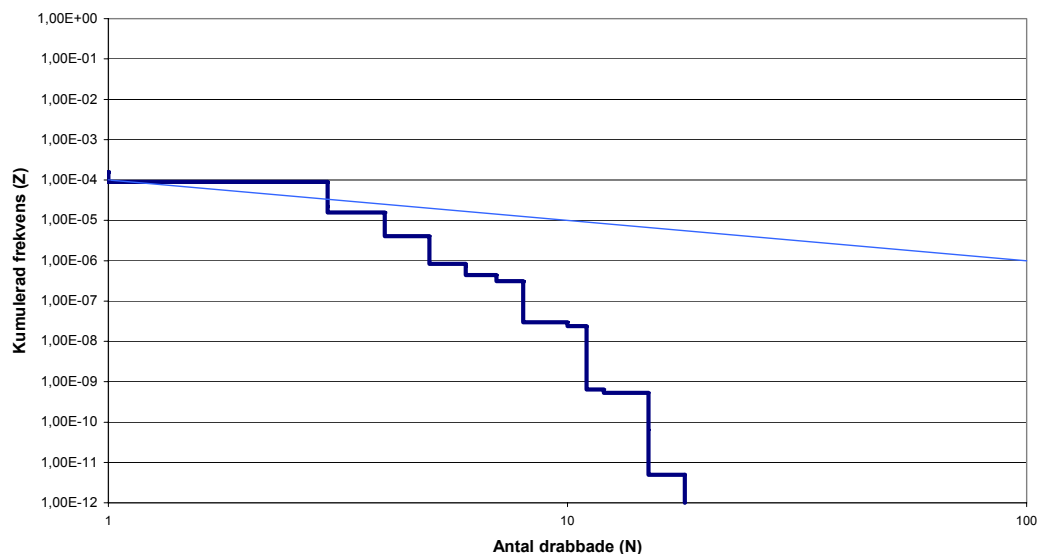
Risken presenteras för tre hus, vilket innebär totalt 24 våningar, som motsvarar antalet våningar i den höga byggnaden. Den totala mängden människor på 24 våningar är då samma för de låga byggnaderna (tre stycken) och för den höga byggnaden. På det viset möjliggörs en jämförelse mellan den totala risken för en låg och en hög byggnad.

Brandvarnare är ett skyddssystem som påverkar riskbilden för huset och är inkluderad i analysen. F/N-diagram och medelrisk presenteras för både då brandvarnaren ljuder och då den inte ljuder. Det möjliggör en jämförelse för att undersöka hur risken påverkas av att det finns fungerande brandvarnare i byggnaden. Byggnadens risknivå ligger något närmare den riskbild som erhålls för situationen då brandvarnare ljuder, eftersom chansen för att brandvarnaren ska ljuda antas vara 73 % i byggnaden.

6.4.1 Utgångsläget

För byggnadens utgångsläge gäller de villkor som återges under objektsbeskrivning och förutsättningar. Den största skillnaden mellan den höga byggnaden, 24 våningar, och den låga, 8 våningar, är att i den sistnämnda finns varken sprinkler, trycksättning eller brandhiss.

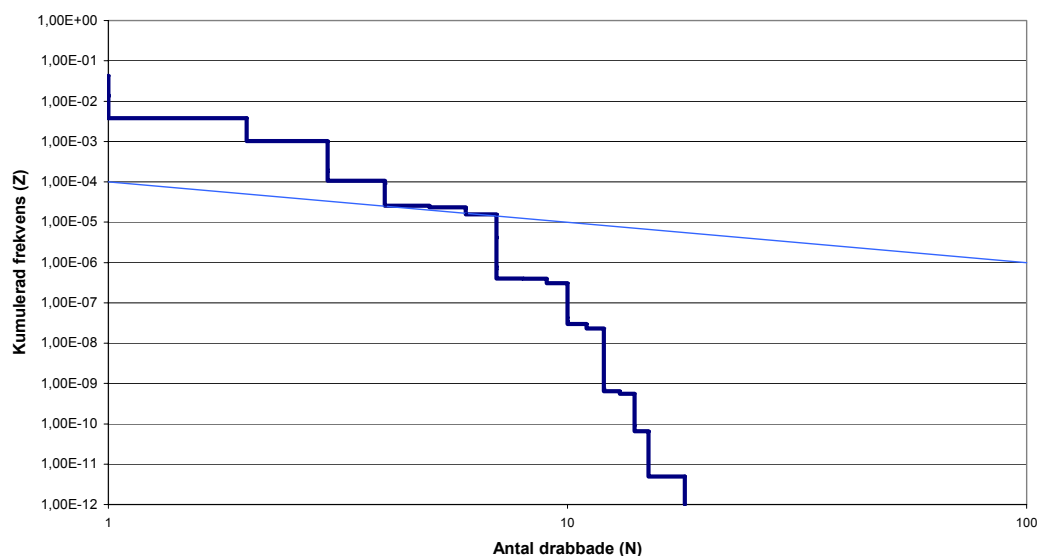
Tre hus består av totalt 24 våningar, vilket stämmer överens med Rumlaborg. Antalet personer i den höga byggnaden svarar mot antalet i tre låga hus och det är möjligt att åstadkomma en riskjämförelse mellan dessa. Risknivån för de tre husen presenteras både för situationen då brandvarnaren ljuder och för situationen då den inte ljuder.



Figur 6-3 F/N-diagrammet visar riskbilden för tre hus, då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $4.3 \cdot 10^{-4}$ drabbade per år.

Riskenivån (som presenteras i figur 6.3) klättrar över stömlinjen på ett ställe. Efter att antalet åtta drabbade personer nås, sjunker risken snabbt.



Figur 6-4 F/N-diagrammet visar riskbilden för tre hus, då brandvarnaren inte ljuder.

Medelrisk: 0.047 drabbade per år.

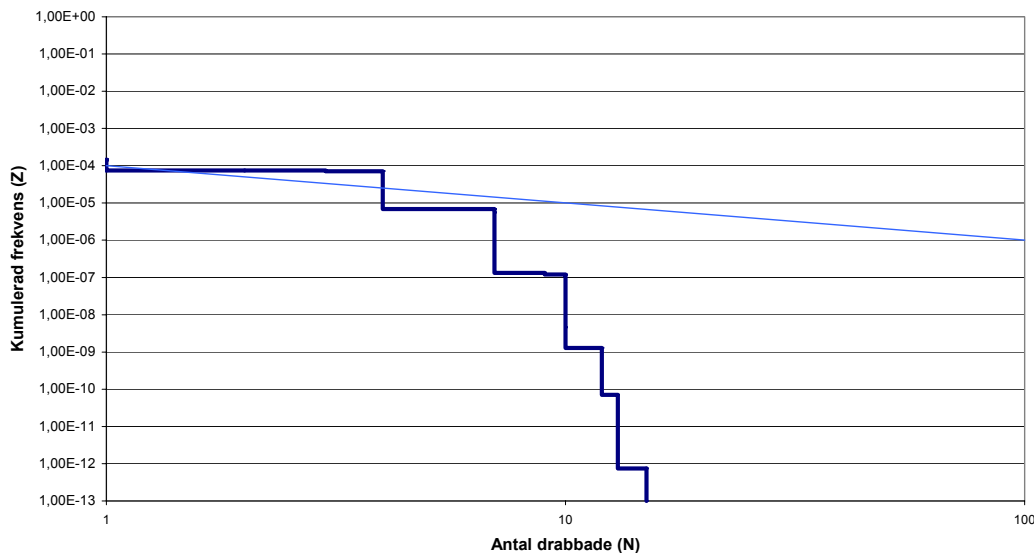
Risken är högre för situationen då brandvarnaren inte ljuder (se figur 6.4), speciellt för få antal drabbade. Medelrisken är ungefär två tiopotenser högre.

6.4.2 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen sker en ändring av konsekvenser och sannolikheter för att urskilja vilka parametrar som påverkar resultatet. De nya risknivåerna som erhålls presenteras som tidigare med hjälp av F/N-diagram och medelrisk.

Konsekvenserna ändras - lägre antal drabbade

Konsekvensen för den låga byggnaden har antagits vara samma som för den höga byggnaden (förutom för händelsen ”brandgasspridning sker till de övre våningarna”). En studie utförs för att undersöka hur riskbilden ändras om konsekvensen minskar. Den sista händelsen i trädet anger om räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 minuter. Då de inte klarar insatsen i den höga byggnaden, antogs antalet drabbade stiga med fem personer om trapphuset är blockerat och annars med tre personer. Dessa värden ändras nu för det låga huset till två personer, respektive en person, eftersom de tidigare värdena kan vara överskattade. Resultatet över risknivån åskådliggörs i figur 6.5 och det gäller för tre hus i fallet då brandvarnaren ljuder.



Figur 6-5 F/N-diagrammet visar riskbilden för tre hus, vid en lägre konsekvens än tidigare i analysen och då brandvarnaren ljuder.

Medelrisk: $3,9 \cdot 10^{-4}$ drabbade per år.

Riskbilden ändras inte synbart för den lägre konsekvensen. Det är endast den högra delen av kurvan, vid högt antal drabbade, som ges en liten ökning. Frekvensen är där så låg att medelrisken inte påverkas av den ökningen.

Sannolikheterna för alla ingående parametrar varierar

För att studera vilka variabler som har stor betydelse för resultatet görs en känslighetsanalys över de parametrar som ingår för att beräkna sannolikheterna för händelserna i händelseträdet. De parametrar som ger ett tydligt utslag på medelrisken, då de varierar, presenteras i tabellform där tidigare och nya värden anges (se tabell 6.3). De tidigare värdena anges inom parentes. Medelrisken gäller för tre hus i situationen då brandvarnaren ljuder.

Tabell 6-3 Tabellen redovisar de parametrar som påverkar risken mest då de varierar.

Parameter som varierar	Sannolikhet P	Medelrisk N/år
Självtängare fallerar	0.05 (0.10)	$3.0 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.20 (0.10)	$6.0 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Läckor i dörr och vägg	0.075 (0.15)	$2.4 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.30 (0.15)	$7.9 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Brand upptäcks visuellt sent	0.01 (0.05)	$3.2 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.10 (0.05)	$4.7 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Larmar sent då brand upptäckts	0.01 (0.05)	$2.2 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.10 (0.05)	$6.0 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Trapphus blockeras av utrymmande personer	0.05 (0.01)	$6.3 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.1 (0.01)	$1.1 \cdot 10^{-3}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Brand för högt upp för effektiv insats	0.05 (0.01)	$5.5 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.1 (0.01)	$7.6 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
Ventilationslucka fallerar	0.05 (0.20)	$1.7 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)
	0.40 (0.20)	$6.8 \cdot 10^{-4}$ ($3.9 \cdot 10^{-4}$)

6.5 Riskvärdering

6.5.1 Värdering av risknivå

För att en jämförelse med en hög byggnad ska bli möjlig utförs studien för tre hus. De tre husen utgör då 24 våningar som är likvärdigt med den höga byggnaden. Det inrymmer lika stort antal människor per plan i den höga byggnaden som i den låga. Det medför att man kan studera om risken ökar för dessa personer, då de vistas i en hög byggnad jämfört med om de befinner sig i de låga husen.

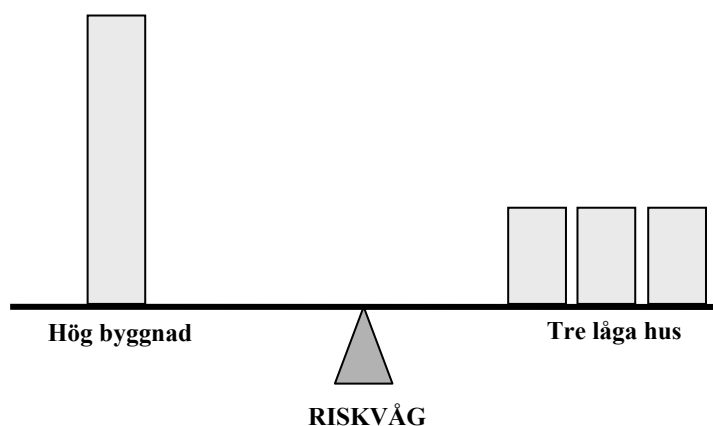
Vid en jämförelse av risken mellan situationen då brandvarnaren ljuder och situationen då den inte ljuder, är skillnaden stor. Det skiljer ca två tiopotenser mellan dem, där den sistnämnda motsvarar den högre av de båda. När utgångsläget (och fallet då brandvarnaren ljuder) studeras för tre hus blir resultatet att riskkurvan som når ut med en spets i området ovan hjälplinjen. För övrigt håller den sig under. Situationen då brandvarnaren inte ljuder ger en betydligt högre risk och det innebär att brandvarnare som finns och fungerar i varje lägenhet är en förutsättning för att risknivån inte ska klättra upp på en hög nivå. Risknivån som speglar risken i huset ligger dock lite närmare fallet då brandvarnaren ljuder, eftersom chansen för att brandvarnaren ljuder då en brand uppstår är 73 %.

I känslighetsanalysen utförs en studie av en lägre konsekvens för den sista händelsen i trädet. Det antas vara färre som drabbas än i den höga byggnaden. Resultatet blir i princip oförändrat mot tidigare i analysen. Det beror på att risken minskar endast något för högt antal drabbade (högra delen i F/N-diagrammet) och där är risken redan väldigt låg och det totala resultatet blir då näst intill opåverkat.

Undersökningen inkluderar även en studie då alla parametrar som bildar händelserna i händelseträdet varieras. De som påverkar risken i större grad är: ”självstängare felar”, ”läckor i dörr och vägg”, ”larmar sent då brand upptäcks”, ”trapphus blockeras av personer”, ”brand för högt upp för effektiv insats” och ”ventilationslucka fallerar”. Läckor och att självstängare felar bidrar till ökad brandgasspridning i byggnaden som utsätter de boende för fara. Det är också väsentligt att räddningstjänsten larmas så snart branden har upptäckts, för då kommer personalen snabbt på plats och har bättre utgångsläge för att klara insatsen effektivt. Eftersom ingen brandhiss finns måste räddningstjänsten ta trapporna och risken påverkas då om trapphuset blockeras och om de ska ta sig högt upp i byggnaden. Risken ökar också om ventilationsluckan i trapphuset inte öppnar, vilket medför att problem uppstår då för de boende som utrymmer och för räddningstjänstpersonalen som ska göra insats.

7 RISKJÄMFÖRELSE - LÅG OCH HÖG BYGGNAD

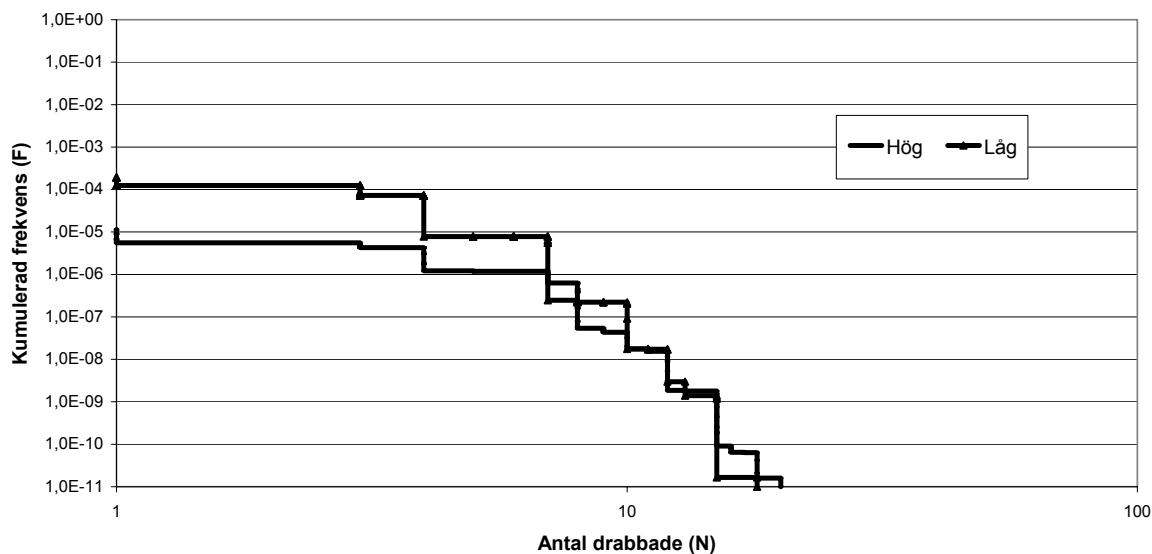
Två riskanalyser genomförs i arbetet. Den första analysen utförs av en *hög* byggnad på 24 våningar, utifrån de förutsättningar som gäller för flerbostadshuset Rumlaborg (som planeras att byggas i Jönköping). I den andra analysen studeras en lägre byggnad (fiktiv) som omfattar 8 våningar och den kallas för *låg* byggnad. Det är intressant att bedöma om det innebär en ökad risk, för en grupp människor, att bo i en hög byggnad jämfört med i en låg. För att göra det möjligt bestäms risken för tre låga hus som totalt utgör 24 våningar, precis som antalet i Rumlaborg (se figur 7.1). Eftersom antalet personer per våning antas vara lika i de båda byggnaderna, inrymmer det höga huset samma antal som tre låga hus. Riskbilden för dessa granskas och jämförs med avseende på medelrisk och risknivå i F/N-diagram.



Figur 7-1 Riskjämförelsen utförs mellan en hög byggnad och tre låga hus.

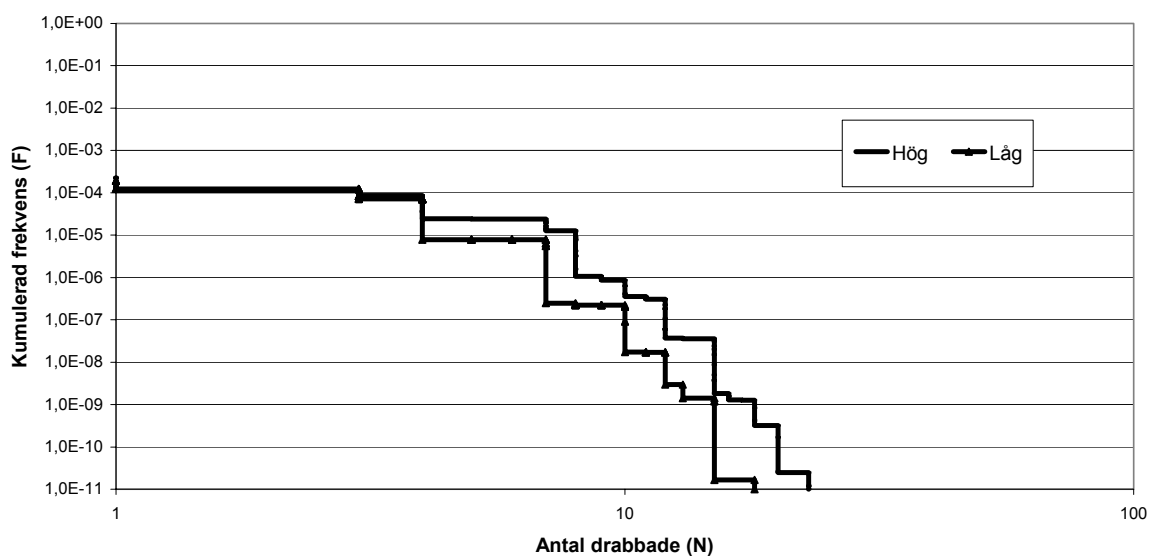
Som nämnts tidigare ger situationen då brandvarnaren inte ljuder en avsevärt högre risknivå än då brandvarnaren ljuder. Det gäller både för de låga husen och för den höga byggnaden. Slutsatsen som kan dras utifrån det resultatet är att en fungerande brandvarnare i varje lägenhet är nödvändigt för att risknivån inte ska vara för hög. Den vidare jämförelsen baseras på risken för fallet då brandvarnaren ljuder (som är den mest sannolika situationen som inträffar till 73 %).

Utgångsläget för Rumlaborg innebär att alla de tänkta skyddssystemen ingår i byggnaden, t ex brandhiss, sprinkler och trycksättning av hisschakt. För de låga husen betyder utgångsläget att sprinkler, brandhiss och trycksättning av hisschakten inte finns. Då dessa villkor gäller för byggnaderna, ger Rumlaborg en lägre medelrisk än de tre låga husen. F/N-diagrammet, som speglar riskbilden, visar att riskkurvan för den höga byggnaden ligger under kurvan för de låga husen, se figur 7.2. Kurvan för de låga husen antas vara acceptabel eftersom byggnaden utförs enligt bestämmelserna, d v s BBR. Enligt analysen erhålls alltså en låg, acceptabel risk för utgångsläget för den höga byggnaden, vilket betyder att skyddssystemen effektivt reducerar risken.



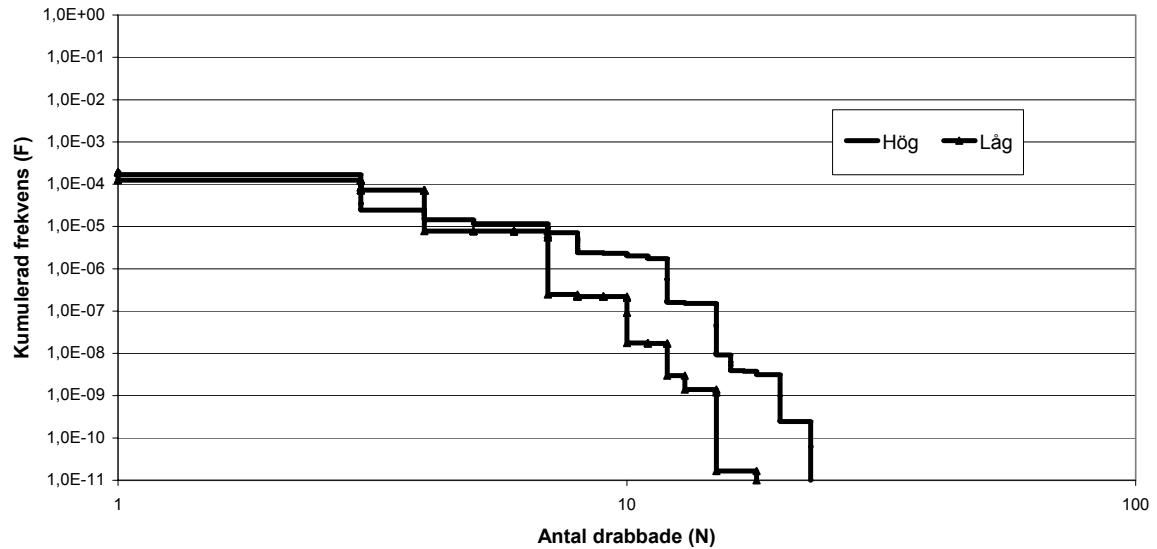
Figur 7-2 Jämförelse mellan låg och hög byggnad. Utgångsläget gäller för den höga byggnaden.

Risken stiger avsevärt för Rumlaborg då sprinkler inte finns. Riskkurvan och medelrisken visar på en högre nivå än vad risken för de låga husen ger. Skillnaden i risk är dock inte särskilt stor mellan hög och låg byggnad, se figur 7.3.



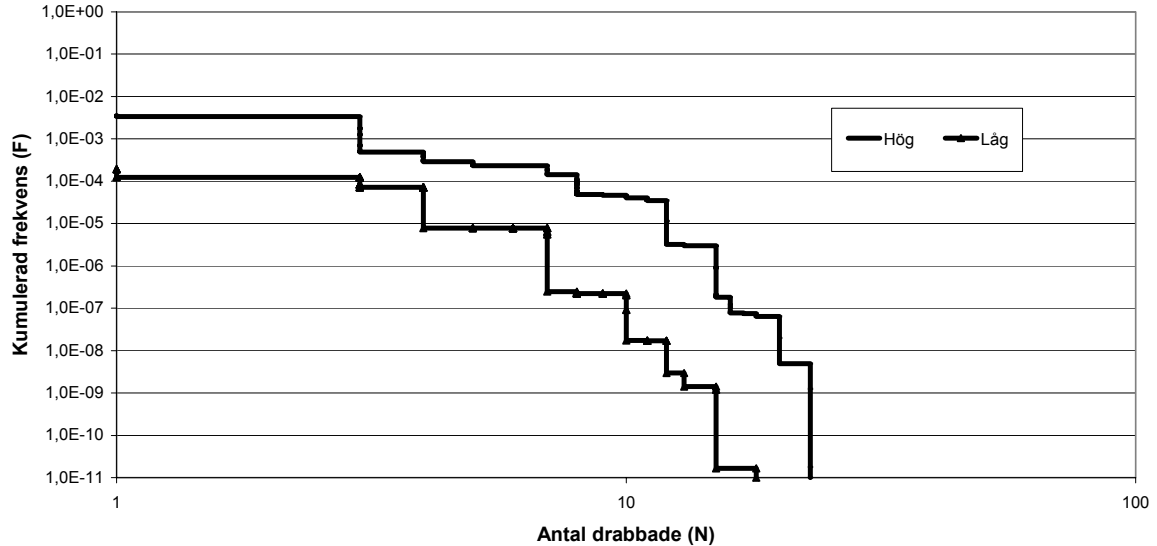
Figur 7-3 Jämförelse mellan låg och hög byggnad. Den höga byggnaden är utan sprinkler.

Studien som undersöker riskbilden, då brandhiss inte finns i den höga byggnaden, ger ungefär samma resultat som för studien utan sprinkler. Risknivån blir endast lite lägre, se figur 7.4.



Figur 7-4 Jämförelse mellan låg och hög byggnad. Den höga byggnaden är utan brandhiss.

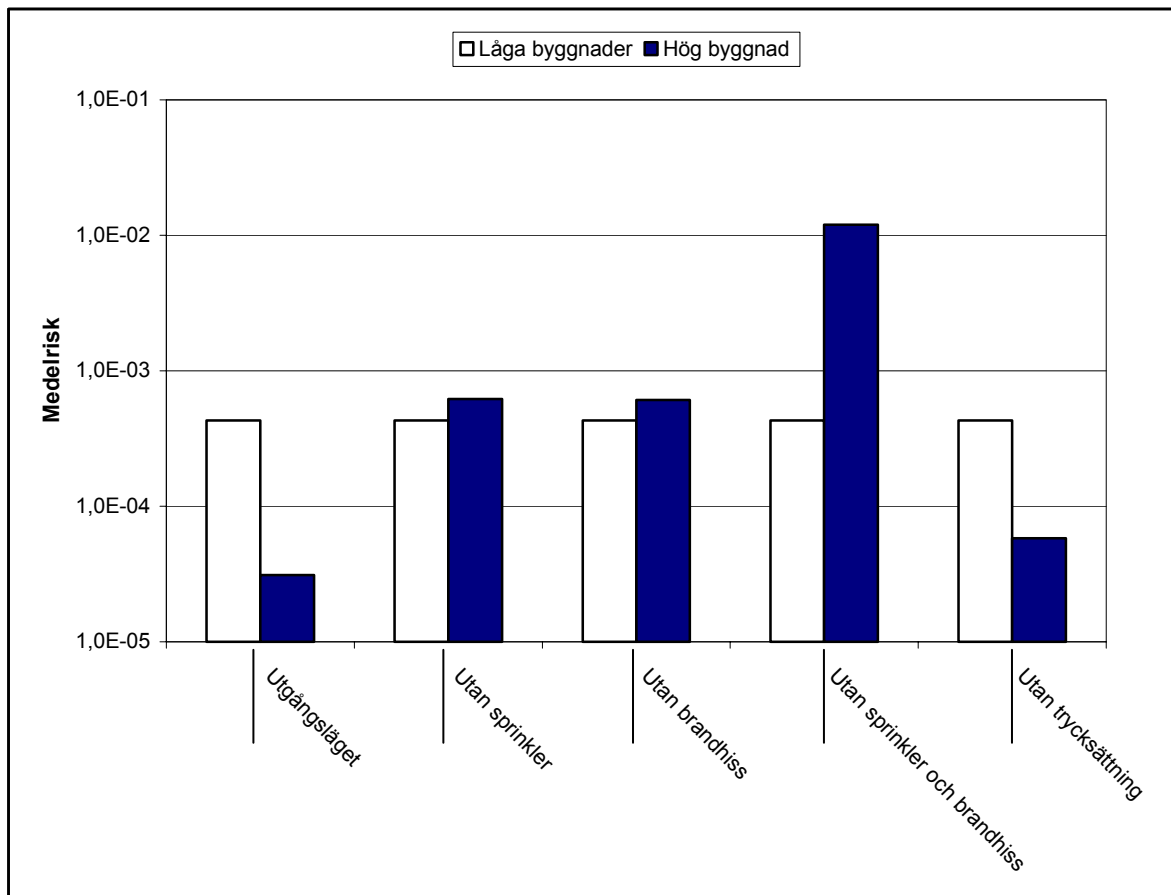
Utredningen omfattar även en studie där varken sprinkler eller brandhiss finns i den höga byggnaden. Risken för den byggnaden blir då betydligt högre än för de låga husen, se figur 7.5. Detta påvisar vikten av att skyddssystem finns och fungerar i byggnaden, för att ge säkerhet åt de boende.



Figur 7-5 Jämförelse mellan låg och hög byggnad. Den höga byggnaden har varken sprinkler eller brandhiss.

Sammanfattningsvis visar analyserna att risken tilltar då personer vistas i en hög byggnad istället för en låg byggnad, om inte den höga byggnaden utrustas med erforderliga skyddssystem. Då sprinkler och brandhiss antas finnas i byggnaden uppnås enligt analysen en hög säkerhet, till och med högre säkerhet än i en låg byggnad. Det innebär att tekniska system kan, enligt analysen, reducera risknivån till ett acceptabelt läge. Medelrisken för båda byggnaderna (ett högt och tre låga hus) redovisas i figur 7.6, och gäller då brandvarnaren

ljuder. Medelvärdet för den höga byggnaden varierar beroende av vilka skyddssystem som antas finnas i byggnaden. Skyddssystemen varieras dock inte för de låga husen.



Figur 7-6 Stapeldiagrammet presenterar medelrisken för låg och hög byggnad. Medelrisken för den höga byggnaden varierar beroende av vilka skyddssystem som finns i byggnaden.

8 MÄNNISKA, TEKNIK OCH ORGANISATION

I examensarbetet ingår området människa, teknik och organisation, vilket är en del av kursen ”människa, teknik och organisation”. Istället för att göra ett fristående arbete är det möjligt att väva in området i examensarbetet och på det viset slutföra kursen. Rapporten har tidigare behandlat området översiktligt, men för att uppnå kursens målsättning görs en komplettering i följande avsnitt. I kapitlet ges ett exempel som gäller specifikt för höga byggnader och som behandlar människa, teknik och organisation, samt interaktionen mellan dessa.

8.1 MTO i höga byggnader

Det är många faktorer som påverkar säkerheten i en hög byggnad. Mänskligt handlande, vilket ibland nämns som den mänskliga faktorn, kan avgöra en brands konsekvenser. Det kan handla om personers uppträdande, människors hantering av situationer eller om människors förhållande till teknik. Det är till exempel viktigt med tidig larmning från någon person i huset då det uppstår en brand på hög höjd. Ett komplement eller alternativ till manuell larmning är ett detektionssystem. Det finns många olika skyddssystem som kan öka säkerheten. Det måste då finnas en bra organisation så rutiner för underhåll fungerar. Dessutom är det viktigt med beredskapsplaner för höga byggnader, dokumentation och uppföljning av tillbud och incidenter, samt insatsplaner för räddningstjänsten. Personalen behöver tillräckliga resurser och de behöver övning för färdigheten [14, kap 1]. Detta är endast några få exempel på hur viktigt det är med faktorerna människa, teknik och organisation i höga byggnader. Det står klart att genom samverkan mellan dessa kan man uppnå ökad säkerhet i en hög byggnad.

Samverkan mellan:

- Människa
- Teknik
- Organisation

⇒ ÖKAD SÄKERHET

8.2 Organisation med säkerhetspersonal

Vissa städer i USA har en särskild organisation med säkerhetspersonal i höga byggnader för att tillfredsställa säkerheten. Säkerhetspersonalen har olika ansvarsområden som ska underlätta för utrymmande personer samt för räddningstjänsten vid ett tillbud, eventuell brand eller attentat. Flera städer kräver även ett skriftligt dokument för varje hög byggnad, en så kallad plan för hantering av nödsituationer. Exempel på städer som tillämpar någon form av organisation för höga byggnader är Seattle, Chicago och New York [55], [56], [59].

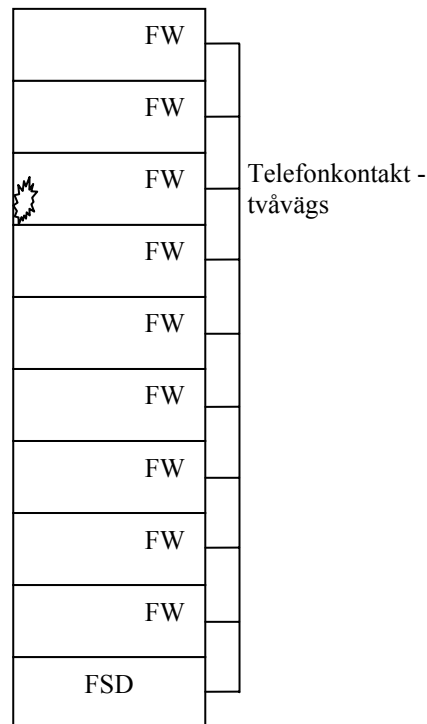
8.3 Organisationen i New York

Sedan 1974 ska New York enligt lagstiftningen ha säkerhetspersonal i höga byggnader om byggnaden uppfyller något av följande [55]:

- > 100 fot (ca 30 meter)
- > 100 personer ovan/under markplan
- > 500 personer totalt ovan första våningen

Om byggnaden uppfyller någon av de tre punkterna ovan ska det finnas följande säkerhetspersonal [63]:

- ✦ 1 st "Fire Safety Director" (FSD), d v s brandskyddschef för byggnaden
- ✦ ≥ 2 st ställföreträdande FSD
- ✦ ≥ 1 st "Fire Warden" (FW), per våning, d v s brandtillsynsman



Figur 8-1 Säkerhetspersonal i en hög byggnad

8.4 Fire Safety Director (FSD)

Brandskyddschefen (Fire Safety Director) är ofta en byggnadsingenjör eller en föreståndare för boendet om det gäller ett bostadshus. Dennes uppgift är att förebygga att incidenter inträffar, förbereda för och hantera olyckssituationer innan räddningstjänsten kommer på plats och kan kontrollera situationen. Han är ansvarig för att planen för hantering av nödsituationer upprättas, implementeras och underhålls [15].

Brandskyddschefen ska vid ett tillbud försäkra sig om att räddningstjänsten har blivit larmade. Han ska rapportera till kontrollrummet för att tekniska säkerhetssystem ska aktiveras och vissa system avaktiveras. Det kan vara t ex utrymningsmeddelande, brandgasventilation, trycksättning, larmning och hissfunktion. Dessutom är det brandskyddschefens uppgift att koordinera arbetet för brandtillsynsmännen i byggnaden, samt att möta räddningspersonalen när de anländer och tala om statusen för det inträffade och ge den information som är tillgänglig. Efter ett tillbud ska förloppet dokumenteras och ansvaret för detta ligger på brandskyddschefen [56].

8.5 Fire Warden (FW)

Det ska finnas en brandtillsynsman (Fire Warden) på varje våning i byggnaden och han ska känna till planen för hantering av nödsituationer. Brandtillsynsmännen är ofta frivilliga och i bostäder representeras de ofta av de boende i byggnaden [59]. En brandtillsynsman ska meddela brandskyddschefen om något inträffar på våningen som han ansvarar för genom att använda telefon- eller radioutrustningen (eventuellt bärbar) som finns i byggnaden och som har en tvåvägsförbindelse.

Brandtillsynsmannens roll är att assistera vid och övervaka utrymningen av övriga boende i byggnaden [56]. Denne ska se till att utrymningen sker säkert och att ingen blir kvar i något utrymme. Han ska t ex se till att de utrymmande personerna använder trapporna och inte hissarna, samt ta hand om och hjälpa rörelsehindrade som inte kan utrymma på egen hand. Ytterligare en uppgift som åligger brandtillsynsmannen är att hindra personer från att gå tillbaks in i evakuerade utrymmen [15]. Han ska även kommunicera med och rapportera till brandskyddschefen vilka utrymmen som har evakuerats, om det finns några skadade, var branden utbrutit och hur brandförloppet har utvecklats. Detta är viktig information som ska nå brandskyddschefen för att han ska kunna vidarebefordra informationen till räddningstjänsten.

Det är obligatoriskt för brandtillsynsmännen att delta i utbildning, t ex vid minst ett tillfälle per år.

8.6 Plan för hantering av nödsituationer

En plan för hantering av nödsituationer är ett dokument vilket fungerar som en informationskälla för både säkerhetspersonalen i en hög byggnad och för räddningstjänsten [56]. Planen ska beskriva säkerhetspersonalens ansvarsområden och deras uppgifter i en nödsituation. Den ska precisera vem, vad, när, var och hur de tilldelade uppgifterna ska genomföras. Planen ska även ge information om hur övningar ska utföras [15].

Dokumentet ska innehålla information om vilka som ingår i säkerhetspersonalen, d v s brandskyddschef, ställföreträdande brandskyddschefer och brandtillsynsmän. Det är nödvändigt att en uppdatering sker regelbundet eftersom posterna byts ibland.

I planen ska det finnas en lista som anger vilka brandskyddssystem som aktiveras eller avaktiveras då det uppstår en brand i byggnaden. Det ska även finnas en beskrivning av var kontrollrummet ligger. Planen ska även redogöra för test och underhåll av de tekniska systemen, framförallt brandskyddssystemen som ska fungera under en brand.

8.7 Brandövning

Övningar är ovärderliga för säkerheten i en hög byggnad. De är ett redskap för att undersöka och förbättra effektiviteten hos säkerhetspersonalen (och även för övriga personer som befinner sig i byggnaden), samt hos vissa brandskyddssystem. Övningar ska ske regelbundet men hur ofta övningarna sker varierar från stad till stad i USA.

Det ska föras protokoll över varje övning. Protokollet ska beskriva hur övningen har gått till, hur säkerhetspersonalen genomförde arbetet, hur säkerhetssystemen fungerade och dessutom vilka förbättringar som rekommenderas [15].

8.8 Samverkan - MTO

Interaktionen mellan människa, teknik och organisation har demonstrerats i kapitel 8. Det står klart att utan samverkan mellan dessa är det svårt att uppnå säkerhet för personerna som befinner sig i en hög byggnad. Människors agerande i olika situationer är en viktig faktor för säkerheten. Det är viktigt att tekniska system fungerar och att människorna vet hur tekniken fungerar, eftersom det är lätt att göra någonting fel i stressade situationer. I höga byggnader måste vissa brandskyddssystem aktiveras och dessutom fungera. Det ställer höga krav både på tekniken och på människorna. För att säkerhetspersonalen ska kunna kommunicera i en hög byggnad krävs det att telefoner eller dyl är i funktion. Det är dessutom lätt att missförstånd sker mellan människor. För att allt detta ska löpa smidigt krävs en strukturerad organisation, t ex bör tekniken underhållas och testas och personalen bör träna och öva för att nå färdighet. På det viset är chansen större för att en incident inte leder till allvarliga konsekvenser.

9 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Risken analysen av det höga flerbostadshuset Rumlaborg är konstruerad till att ta hänsyn till de problem som förknippas med höga byggnader. Analysen utfördes med de förutsättningar som gäller för Rumlaborg, t ex att verksamheten är ett boende och att byggnaden förses med endast *ett* trapphus. Analysen resulterar i en risknivå för personerna i Rumlaborg då brand uppstår i en lägenhet. Risknivån ändras beroende av vilka skyddssystem som byggnaden utrustas med. En riskanalys har även utförts över en låg fiktiv byggnad, för att risknivån för den höga byggnaden ska kunna ställas i relation till risknivån för den låga. Den låga antas vara acceptabel eftersom den utformas enligt bestämmelserna i Boverkets Byggregler [2].

Rumlaborg studeras med och utan:

- Sprinkler
- Brandhiss
- Trycksättning av hisschakt

Dessutom omfattar analysen både situationen då brandvarnaren fungerar och för situationen då den inte fungerar. Risknivån blir mycket högre för fallet då brandvarnaren inte fungerar och det gäller för båda byggnaderna (hög och låg). Det innebär att brandvarnare som finns och fungerar i bostadslägenheter, kan öka säkerheten markant och rädda många liv [57].

Resultatet vid jämförelsen mellan låg och hög byggnad visar att risknivån blir avsevärt mycket högre för den höga byggnaden om den utformas utan sprinkler och brandhiss. Då Rumlaborg förses med sprinkler (men utan brandhiss) kommer riskbilderna att förändras och risknivån blir något högre än risknivån för låg byggnad. Detsamma gäller för situationen då brandhiss finns (men inte sprinkler) i byggnaden, d v s risken blir även då något högre än för lågt hus. Då hisschakten i Rumlaborg trycksätts minskar risken, men inte i lika hög grad som de ovan nämnda skyddssystemen.

Om den höga byggnaden däremot utrustas med både sprinkler, brandhiss och trycksättning sänkt risknivån ansevärt och risken blir lägre än för låg byggnad. Resultaten mynnar ut i slutsatsen att vissa skyddssystem kan sänka risken till en låg nivå i byggnaden och erforderlig säkerhet kan därmed uppnås. Det bör dock understrykas att resultaten är förknippade med flera osäkerheter som tillkommit under processens gång och dessa bör finnas med i bakgrunden då resultatet av analysen värderas.

Handikappade och äldre kan ha svårt att utrymma via trapphuset i höga byggnader. Problemet bör lösas t ex genom att åstadkomma en säker flyktplats, inrymningszon, för dessa personer. Möjligheten att utrymma dessa personer ökar också om brandhiss finns i byggnaden, då insatspersonalen kan evakuera personerna via den. Tillgång till brandhiss underlättar även för räddningstjänsten vid en insats. Det finns inte definierat i bestämmelserna när (vid vilken höjd) det krävs en brandhiss i en byggnad. Där uttrycks endast att brandskyddsåtgärder kan krävas då räddningstjänstens ingripande inte kan förväntas inom normal insatstid [2]. En studie borde utföras för att undersöka hur många våningar som räddningsmannskapet maximalt kan förväntas nå utan att orka, säkerhet och tid sätts ur spel för att åstadkomma en effektiv insats. Den europeiska standarden för brandhiss uttrycker att brandhiss är nödvändigt i alla höga byggnader. Standarden anser att en hög byggnad är en byggnad som har våningar ovan den höjd dit räddningstjänstens utrustning maximalt når. Det innebär ungefär åtta våningar.

I analysen förväntas branden sprida sig mellan våningsplanen om räddningstjänsten inte kan göra ett effektivt ingripande. I analysen är därför brandhissen en viktig parameter för att minska risken för spridning. Det kan dock vara möjligt att genom särskild konstruktion av byggnaden (fasaden) minska risken för att sådan spridning ska förekomma. Detta kan studeras vidare för att hitta lösningar som kan ersätta brandhissen i det avseendet. Utan brandhiss kvarstår ändå problemet för räddningspersonalen då de tvingas ingripa i en hög byggnad.

Det är möjligt att göra tekniska byten, avsteg från andra krav, t ex då sprinkler installeras i en byggnad. I en hög byggnad förlitar man sig ofta på de inbyggda tekniska skyddssystemen för att erhålla en tillräcklig säkerhet. Tekniska komponenter har dock inte 100 % tillförlitlighet. Eftersom konsekvenserna, till följd av felfunktion hos tekniska system, kan bli allvarliga då brand utbryter i ett högt hus bör det utföras en undersökning som beaktar de avsteg som gjorts samt byggnadens totala brandskydd.

Säkerheten under byggtiden är viktig för de personer som arbetar i byggnaden. Eftersom kanske varken aktiva eller passiva skyddssystem är kompletta kan följderna av t ex en brand bli allvarliga. Det är då av stor vikt att lösa brandskyddet under byggtiden och om arbetsplatsen är komplex kan det vara befogat att utföra en riskanalys eller utredning över de faror som kan uppstå och på så sätt bli förberedd på vad som kan inträffa.

Genom att utföra en riskanalys av en hög byggnad identifieras de problem som kan uppstå och det bidrar till att oplanerade händelser överförs till att bli mer förutsägbara och därmed kontrollerbara. Det medför att risken kan minskas för personerna i byggnaden. En analys kan även ge en kvantifiering av risken och det innebär att olika skyddssystem kan värderas. Riskanalysen av Rumlaborg visar att risknivån kan minskas till en acceptabel nivå genom tekniska skyddssystem.

REFERENSER

Litteratur som informationskälla

1. Aust R., *Fires in Homes: Findings from the 2000 British Crime Survey*, England and Wales, 2001
2. BBR, *Boverkets Byggregler*, BFS 1993:57 med ändringar tom BFS 1998:38, Karlskrona, 1998
3. Bilagan, *Högre, Högre och Högre*, nr 2, 2000
4. Brand och Räddning, *Brandprov ska Förhindra att Skyskrapan Brinner*, nr 6, 2000
5. Brand och Räddning, *Skyskrapan Brinner*, nr 4-5, 2001
6. Brandskydd- Senaste Nytt om NVS Brandskyddstjänster, *Brandskydd på Högsta Nivå- Totalsprinklar Sveriges Högsta Hus*, nr 1, 2001
7. Brandskyddslaget, LTH-Brandteknik, *Brandskydd, Boverkets Byggregler- Teori och Praktik*, Stockholm 1994
8. BS 5588, *British Standards*
9. BSI Standards, *Draft as Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Buildings*, 1995
10. Bukowski R.W., Budnick E.K. and Schemel C.F., *Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems*, SFPE, NIST, IAFSS and ICFRE3, 1999
11. Bush R. and Routley J. G., *Operational Considerations for Highrise Firefighting*, Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration, 1996
12. Bygg och Teknik, *Skyskrapan Brinner- Försök med Glasfasader*, nr 6, 2000
13. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *CPQRA, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, USA 1989
14. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, *Fire Safety in Tall Buildings*, USA, Tall Buildings and Urban Environment Series, McGraw-Hill, 1992
15. Craighead Geoff, *High-Rise Security and Fire Life Safety*, Butterworth-Heinemann, USA, 1996
16. Dagens Industri, *Skanska Röjer i Ruinerna*, World Trade Center-katastrofens Konsekvenser, 13 september, 2001
17. European Standard, *Safety Rules for the Construction and Installation of Lifts- Fire Fighting Lifts*, Association Francaise de Normalisation, 2001
18. Fagergren Tomas och Jensen Lars, *Ny trycksättningsmetod för trapphus för utrymning*, Brandskyddslaget, Stockholm och Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, 1999
19. Fahy Rita F., *A Study of Occupant Behaviour During The World Trade Center Evacuation*, Interflam '96, National Fire Protection Association, Quincy, USA, 19
20. FOA, Försvarets Forskningsanstalt, *Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor*, Användarrapport, 1997
21. Gustavsson Gunilla, *Ritningar – Rumlaborg*, Creacon, Jönköping

22. Hall J. R., Jr., *High-Rise Building Fires*, Fire Analysis and Research Division, National Fire Protection Association, Quincy, USA, 2000
23. Hall J. R., Jr., *Special Data Information Package- High-Rise Fatal Fires in Apartment Buildings*, Fire Analysis and Research Division, NFPA, Quincy, USA, 1999
24. Hall J. R., Jr., *Special Data Information Package- High-Rise Fatal Fires in Hotel and Motel Buildings*, Fire Analysis and Research Division, NFPA, Quincy, USA, 1999
25. Hall J. R., Jr., *Special Data Information Package- High-Rise Fatal Fires in Office Buildings*, Fire Analysis and Research Division, National Fire Protection Association, Quincy, USA, 1999
26. Isaksson S., Holmberg L. och Jacobsson P., *Sprinklersystems vattentillopp- tillförlitlighet*, Brandforsk Projekt 631-962, SP Rapport 1998:12, 1998
27. Järphag Thomas, *Brandskyddsutredning- Rumlaborg, Huskvarna*, NCC Teknik, Jönköping, 2001
28. Karlsson Björn and Quintiere James G., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, 2000
29. Kemikontoret, *Tekniska Riskanalysmetoder- Riskhantering 3*, Stockholm, 2001
30. Lagboken, *Förordning om Tekniska Egenskapskrav på Byggnadsverk, mm.*, 1994:1215
31. *NFPA Journal- High-Rise Buildings*, Volume 95, Number 3, May/June 2001
32. Nystedt Fredrik, *Bostadsbränder och Sprinkler- en koppling till brandteknisk dimensionering*, Rapport 3108, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2001
33. Olsson Fredrik, *Riskanalysmetoder*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1999
34. Ondrus Julia och Pettersson Ove, *Brandrisker- Fönsterprofiler av Plast, Aluminium och trä, En Jämförande Studie Genom Experiment i Fullskala*, Rapport ISSN 0282-3756, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1997
35. Ondrus Julia och Pettersson Ove, *Brandrisker- Utvändigt Tilläggsisolerade Fasader, En Experimentserie i Fullskala*, Rapport, ISSN 0282-3756, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1986
36. Peacock R. D. et. al., *A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport*, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1997
37. Peige John D. and Williams Connie E., *Fire Problems in High-Rise Buildings*, International Fire Service Training Association, Oklahoma State University, 1976
38. Proulx G., *Highrise Evacuation: A Questionable Concept*, International Symposium on Human Behaviour in Fire- Understanding Human Behaviour for Better Fire Safety Design, USA, 2001
39. Risk- och Miljöavdelningen, *Räddningsinsatser 1996*, Räddningsverket, Karlstad, 1997
40. Risk- och Miljöavdelningen, *Räddningstjänst i Siffror 1997- 1999*, Räddningsverket, Karlstad, 1998-2000
41. Risk- och Miljöavdelningen, *Värdering av Risk*, ISBN 90-88890-82-1, Räddningsverket, Karlstad, 1997
42. Routley J. G., C. Jennings and M. Chubb, *High-Rise Office Building Fire- One Meridian Plaza, Philadelphia, Pennsylvania*, Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration, 1991
43. Räddningstjänsten i Jönköping, *Nyttjande av resurser*, Insatsstyrka- antal man lokalt per tidpunkt

44. Salabaria E. F. and Ennis L. P., *High-Rise Residential Fire, Tampa, Florida*, Fire Engineering, August, 1999
45. SCB, Statistiska Centralbyrån, *Statistikdatabas över Befolkning- Bostadshushåll efter region, hustyp, hushållsstorlek och lägenhetstyp*, 1990
46. SCB, Statistiska Centralbyrån, *Vill du bidra till ett säkrare samhälle?- Resultat från en Undersökning om Bränder och Brandskydd i Hemmet*, 1997
47. Society of Fire Protection Engineers, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd Edition, National Fire Protection Association, USA, 1995
48. Sveriges Nationalatlas, *Klimat, sjöar och vattendrag*, Vindros för Jönköping
49. Sydsvenskan, *Panik ovanligt vid katastrofer enligt experter*, 17 september, 2001
50. Tamura George T., *Smoke Movement and Control in High-Rise Buildings*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA, 1994
51. The Building Regulations 1991, *Approved Document B – Fire Safety*, Department of the Environment, Transport and Regions (DETR), ISBN 1 85112351 2, 2001
52. Watson L., J. Gamble and Schofield R., *Fire Statistics- United Kingdom- 1999*, UK, 2000
53. Yoshida Yoshiyuki, *A Study of Evacuation Behaviour in the World Trade Center Explosion*, Fire Technology 2nd Quarter, 1996

Internet som informationskälla

54. Aaro Designsystem, NCC:s hemsida, *Kista Science Tower*;
<http://www.fastigheter.ncc.se/fastigheter/kista.html>
55. Fire Safety Director's Association, hemsida; <http://www.nyfsd.org/history.htm>
56. Seattle Fire department, hemsida; <http://www.cityofseattle.net/fire/FMO/firecode/infobulletins/982.pdf>
57. Svenska Brandförsvärsföreningen, hemsida; www.SvBF.se
58. Tamara G.T., McGuire J.H., Canadian Building Digest, *Smoke Movement in High-Rise Buildings*, hemsida; <http://www.nrc.ca/irc/cbd/cbd133e.html>
59. The City of Chicago, hemsida; <http://www.www.chiefengineer.org/article.cfm?seqnum1=785>
60. *Turning Torso*, hemsida; <http://www.turningtorso.com>

Personer som informationskälla

61. *Angerd Magdalena*, Brandingenjör, Holmes Fire and Saftay, Australien
62. *Coté Ron*, P.E, Ingenjör, huvudansvarig för "Life Safety Code", NFPA- National Fire Protection Association, USA
63. *Delin Mattias*, Brandingenjör, Brandskyddslaget, Stockholm
64. *Eriksson Linus*, Brandingenjör, Representant för höghus-projektet Turning Torso, Malmö Brandkår
65. *Erlandsson Ulf*, Brandingenjör och Brandutredare, Räddningsverket, Karlstad

66. *Hansson Pär*, Brandingenjör, Bengt Dahlgren AB, Göteborg
67. *Juhlin Sören*, Företagsspecialist på hissar, DNV, Stockholm
68. *Järphag Thomas*, Sektionschef för NCC Teknik Bygg, Göteborg
69. *Liljeqvist Per*, Brandingenjör, Räddningstjänsten Gislaveds kommun
70. *Löfgren Oscar*, Brandingenjör, Arup, England
71. *Olsson Per-Åke*, Brandingenjör, Arup, Hong Kong
72. *Wong Charlie*, Brandingenjör, Arup, Hong Kong

A INTERVJU – INTERNATIONELLA BYGGREGLER

Intervjun är skriftlig och innehåller frågor om de internationella byggreglerna för höga byggnader. Svar erhöles från USA, Hong Kong, Australien och England. Intervjun presenteras i sin ursprungliga form.

THANKS FOR TAKING THE TIME!

My name is Emma Lindsten. I am a student of fire safety engineering in Lund, Sweden. I am working with my degree thesis in safety for **high-rise buildings**. Below I have listed some questions I need for a research about international regulation that describe how to solve the fire protection in high-rise buildings and also in how to project fire protection according to custom (established practice). The answers shall not be regarded as complete, they are meant to give me a general view of international regulations. You can see this as an “e-mail interview”. Feel free to rephrase a question that is not suitable for your regulations. If you’re not able to answer some question, just omit that question and continue with the next one. If you would be able to specify which answer is according to the regulations and which answer is according to custom, I will appreciate it very much.

Definition:

- ✦ What is your definition of a high-rise building?

Sprinkler:

- ✦ Is there a limit in how many floors (building height) you accept before you need to install sprinklers?
- ✦ Does the number of accepted floors vary with different occupation?
- ✦ If sprinklers are required, what kind of sprinkler is used?
- ✦ Do you ever require higher reliability in the system (for ex. two pumps)?
- ✦ Is there a possibility to make any trade-off (in other demands for fire protection) if you use sprinklers in a high-rise building?

Stairway:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need to have two stairways?
- ✦ Does the number of accepted floors vary with different occupation?
- ✦ Does the number of accepted floors vary with the number of people in the building?
- ✦ Are there any regulations regarding design of the stairway (for ex. pressurization)?
- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before the stairway need to be sectioned (to avoid vertical smoke spread)?

Fire fighting lift:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you require a fire fighting lift?
- ✦ Does the number of accepted floors vary depending on attendance time?

Fire alarm system:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need to install fire alarm?
- ✦ Does the number of floors vary depending on the occupation or number of people?
- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need PA system?

Phased evacuation:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need phased evacuation?

- ✦ In that case, do people evacuate all way out or to a safe area?
- ✦ Is the safe area in the stairway or in a room/refugee floor?
- ✦ When a section is completely evacuated, will then next section (below or above) start evacuation until all sections in the building are evacuated?
- ✦ If phased evacuation is used, are the people aware/enlightened of how to evacuate before accident occurs? Are they supposed to be trained?

Communication equipment:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need fire fighting communication equipment?

Window classification:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need higher fire rating on windows (to avoid vertical fire spread between compartments)?

Adjoining buildings:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need extra protection to avoid fire spread to adjoining buildings?

Detection system:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need higher reliability on the detection system (for ex. double systems)?

Smoke gas ventilation:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need any kind of smoke gas ventilation (fan or hatch/opening)? Where is the ventilation placed?

Elevators:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you need evacuation by elevators?
- ✦ If not, do you ever use elevators for emergency evacuation?

Division into fire compartments:

- ✦ Is there a limit in how many floors you accept before you have to make the division differently (for ex. smaller compartments or higher fire rating)?
- ✦ Do you ever need reinforced divisions (for ex. between every fourth floor)?

Number of people and fire load:

- ✦ Is there a limit in the number of people and in the fire load allowed at a specific height?
- ✦ Does the limit depend on different occupation in the building?

Missing something?

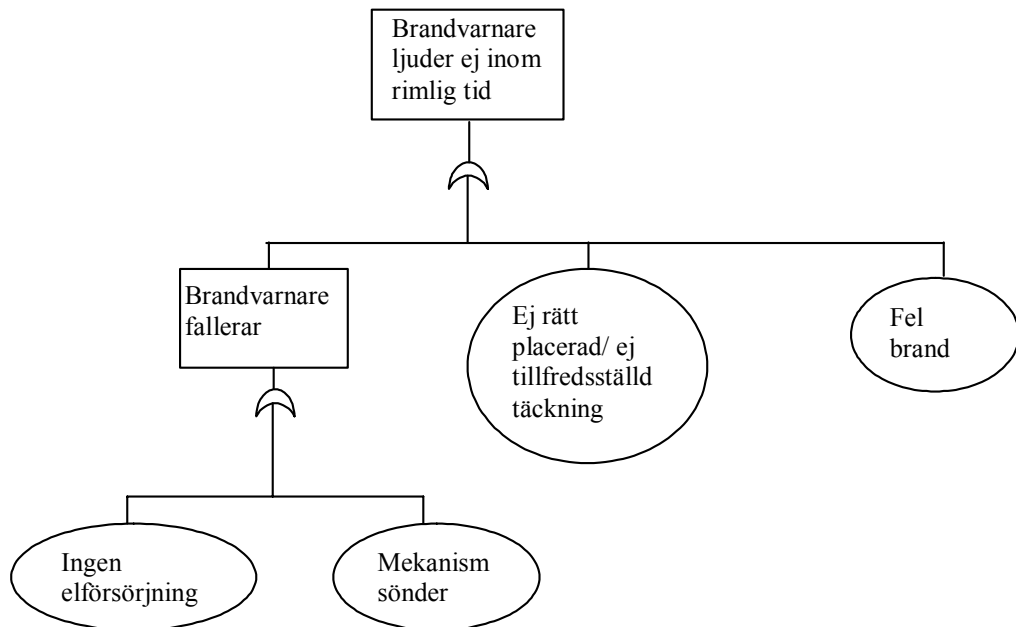
- ✦ Is there any important regulation (or established practice) that I left out?

THANK YOU so much for your help!

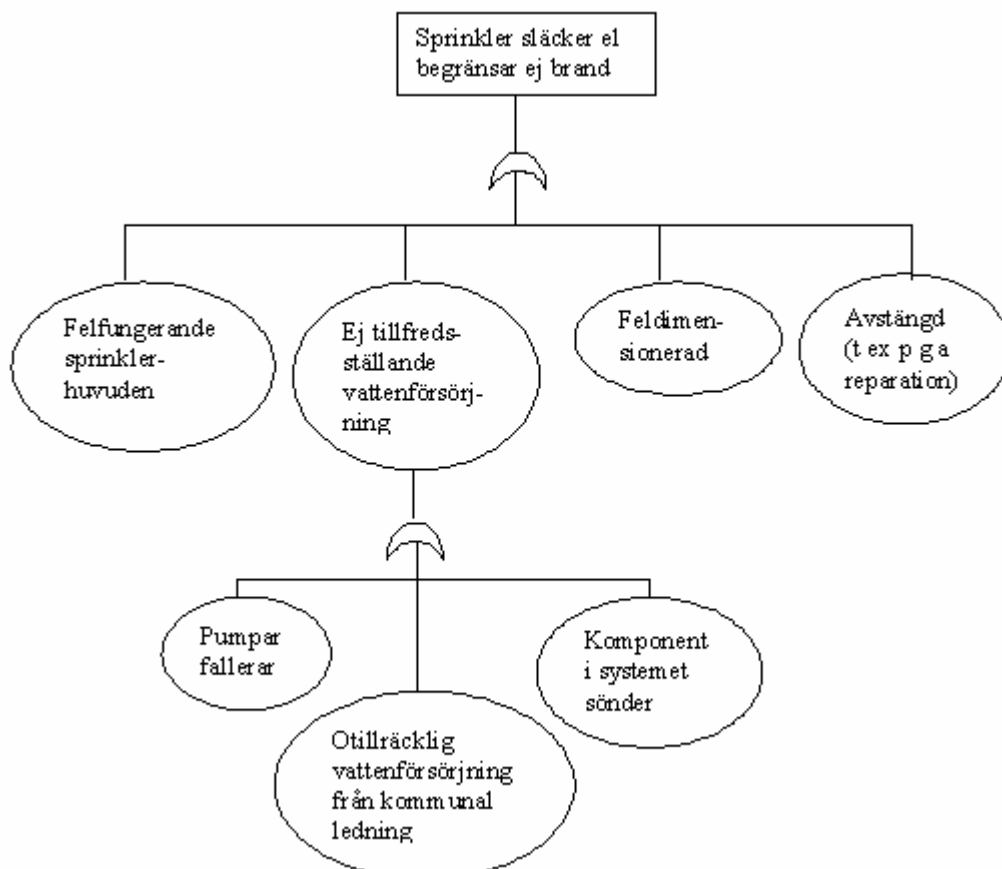
Regards,
Emma Lindsten

B FELTRÄD

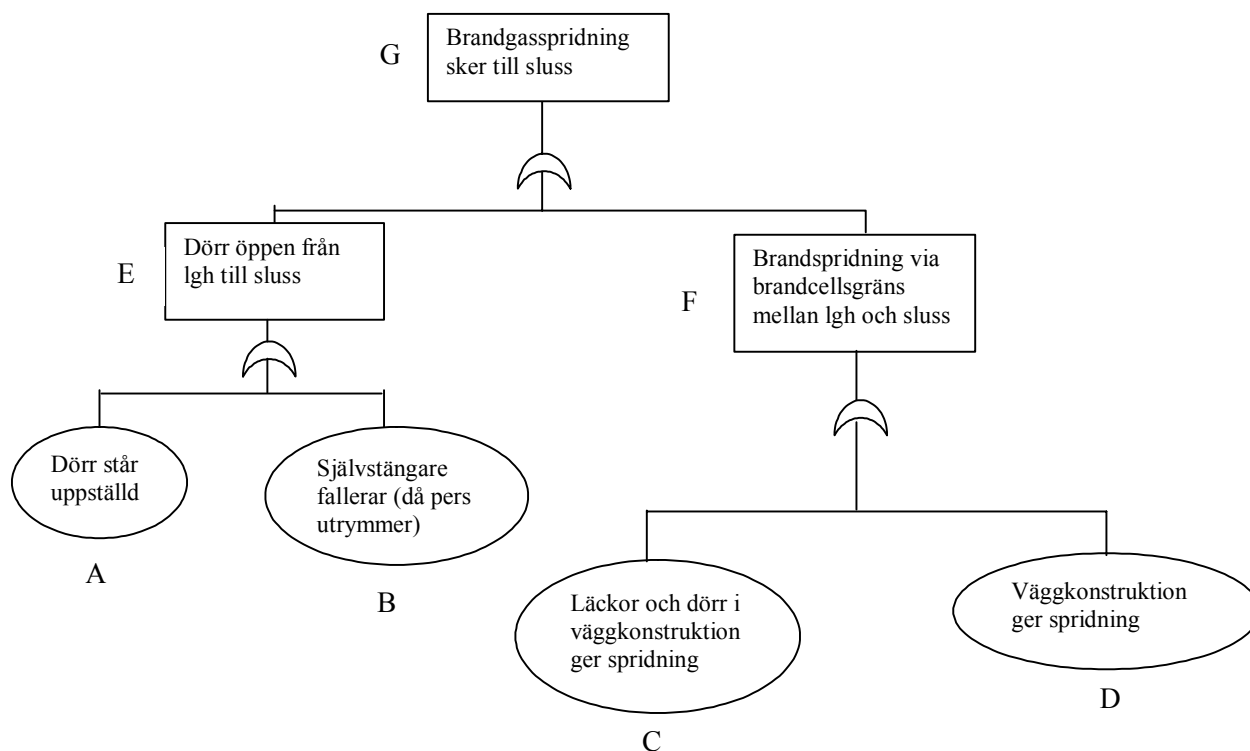
B.1 Brandvarnare ljuder ej inom rimlig tid



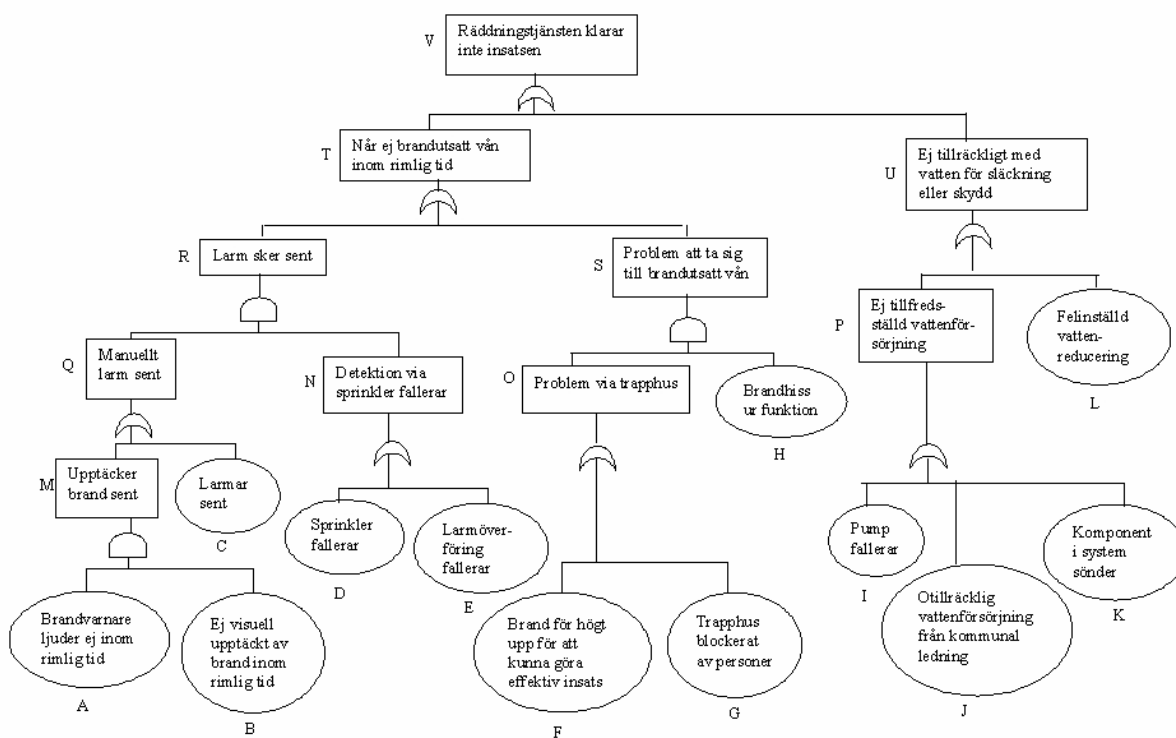
B.2 Sprinkler släcker eller begränsar ej branden



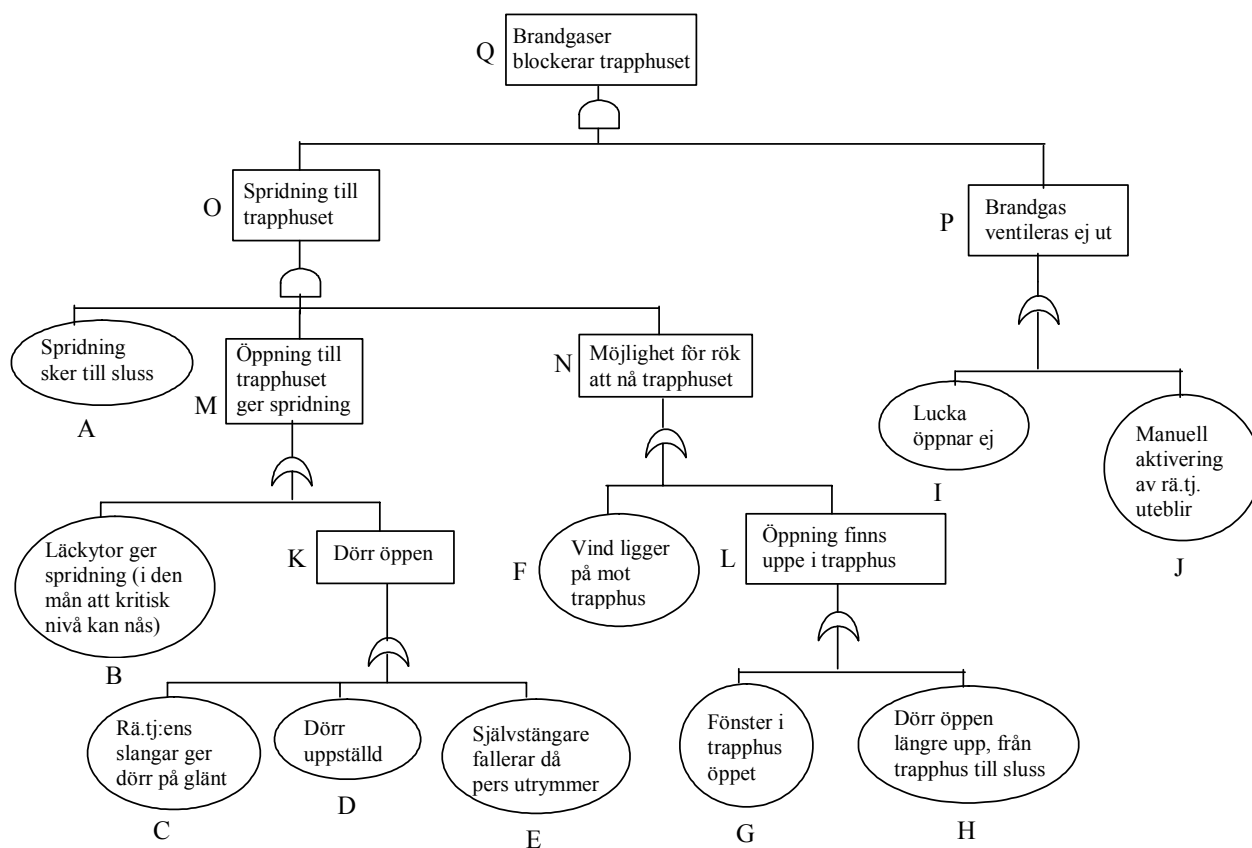
B.3 Brandgasspridning sker till sluss



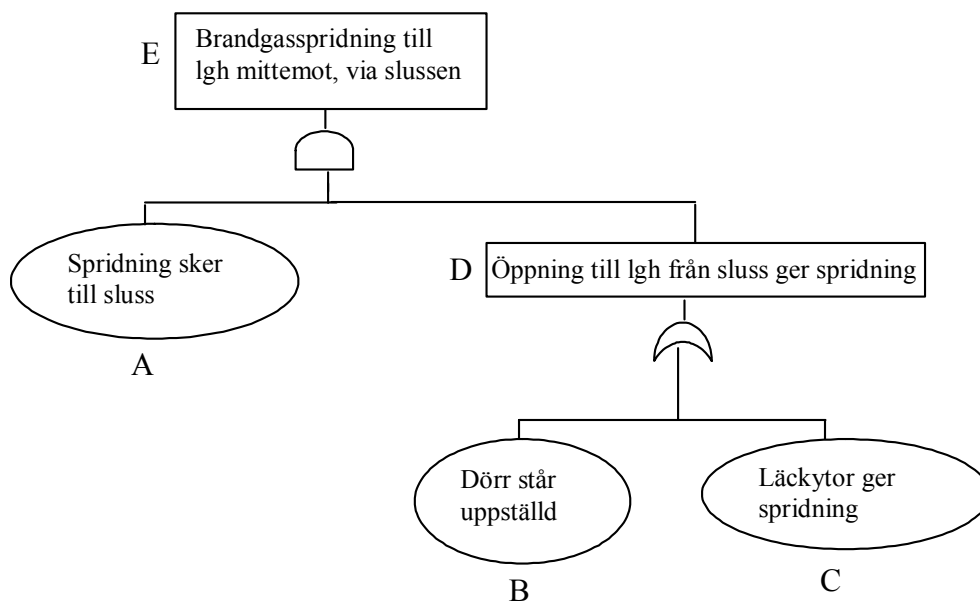
B.4 Räddningstjänsten klarar inte insatsen



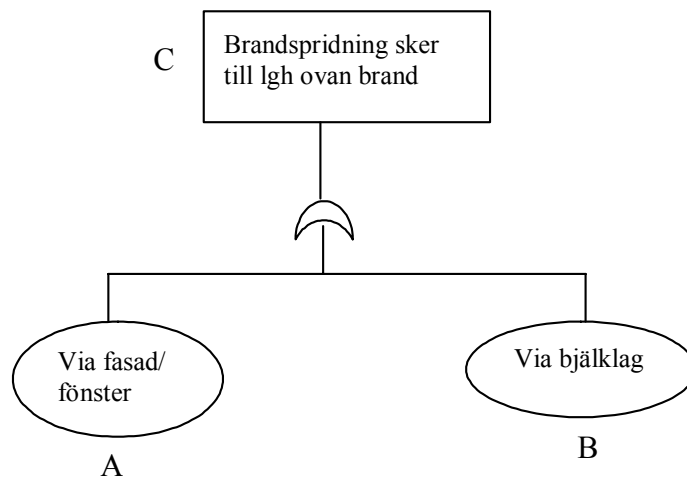
B.5 Brandgaser blockerar trapphuset



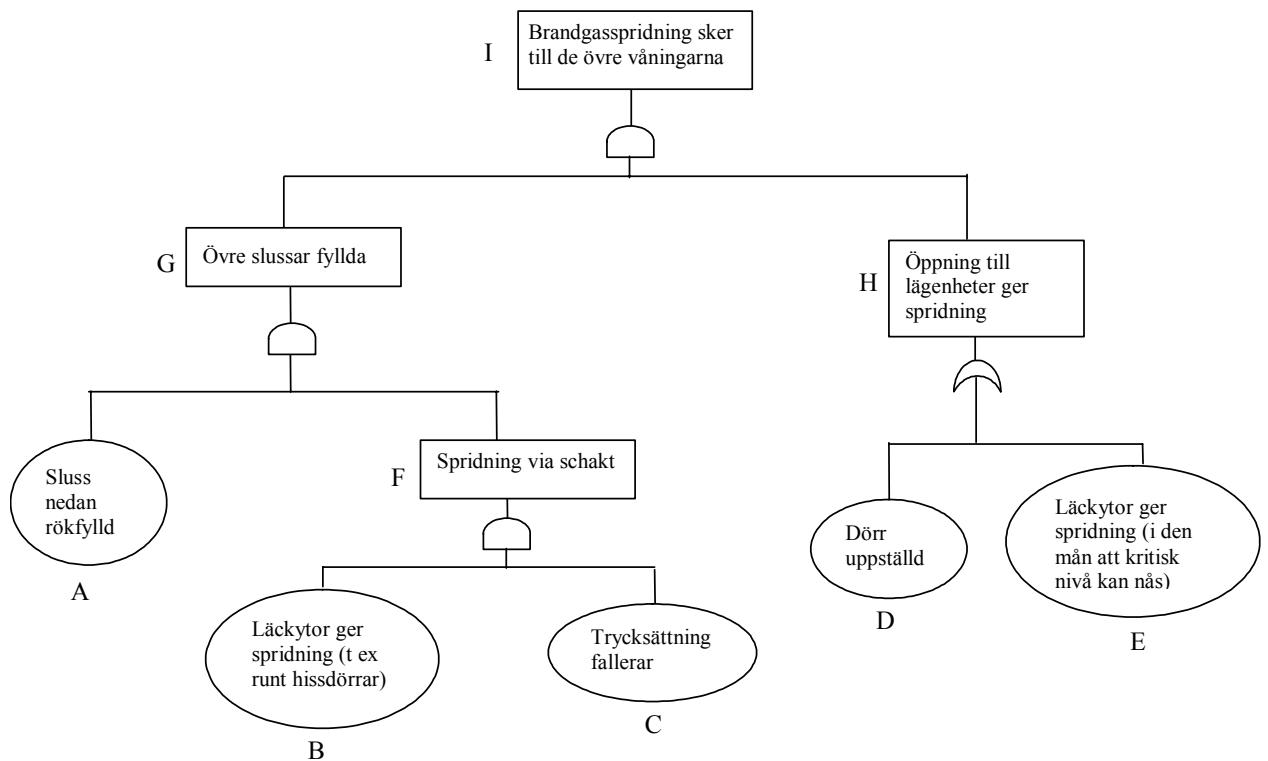
B.6 Brandgasspridning sker till lägenheten mitt emot



B.7 Brandspridning sker till lägenheten ovan



B.8 Brandgasspridning sker till de övre våningarna



C SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR – HÖG BYGGNAD

C.1 Händelse 1-3

Händelserna beräknas utan hjälp av felträd.

Brand uppstår i lägenhet (1):

- ✘ Antal bränder per lägenhet och år i flerbostadshus: $Z = 1.50 \cdot 10^{-3}$
- ✘ Brand släcks ej manuellt och slocknar ej: $P = 0.59$

$$\Rightarrow Z = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.59 \approx 8.9 \cdot 10^{-4} \text{ bränder per lägenhet och år}$$

Brandvarnare ljuder inom rimlig tid (2):

- ✘ Brandvarnare finns i lägenheterna (installeras i ett initialt skede): $P = 1$
- ✘ Andelen brandvarnare som antas vara felmonterade (t ex felplacerade): $P = 0.10$
- ✘ Andelen brandvarnare som efter en längre tid antas ha blivit nermonterade: $P = 0.10$
- ✘ Andelen som fungerar vid test av de brandvarnare som finns: $P = 0.90$

$$\Rightarrow P = 1 \cdot (1-0.1) \cdot (1-0.1) \cdot 0.9 \approx 0.73$$

Sprinkler begränsar eller släcker branden (3):

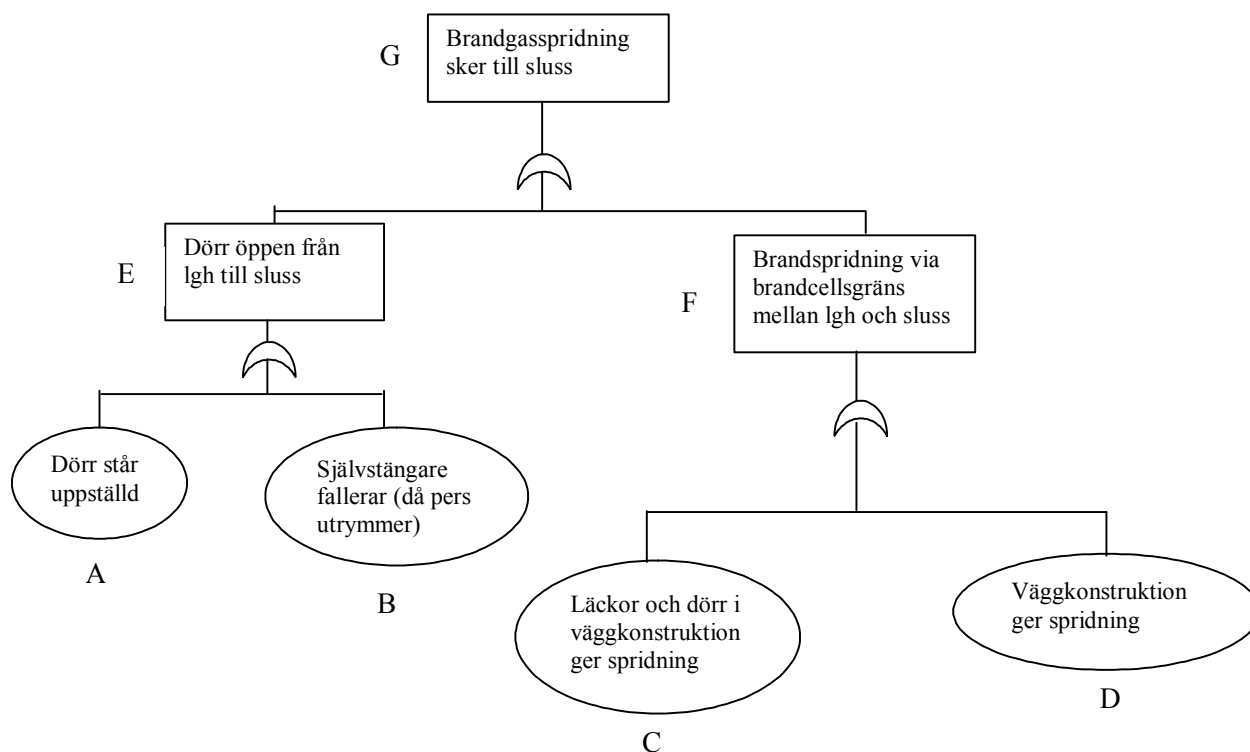
- ✘ Sprinklers tillförlitlighet: $P = 0.95$

$$\Rightarrow P = 0.95$$

C.2 Händelse 4

Brandgasspridning sker till slussen (4):

Händelse 4 beräknas utifrån felträdet som beskriver orsakerna till att slussen fylls med brandgaser, se figur C.1. Händelserna redovisas och dessa ger sannolikheten för topphändelsen efter beräkningar. Räkne-reglerna som används gäller för felträd. Indexen för sannolikheterna anger vilken händelse i felträdet som avses.



Figur C-1 Felträdet beskriver hur brandgasspridning sker till slussen och det är topphändelsen. Dess orsaker utgörs av bashändelserna. Händelserna ges olika bokstäver för att definiera vilken som syftas till i beräkningarna.

- ✘ $P_A = 3.0 \cdot 10^{-3}$
- ✘ $P_B = 0.10$
- ✘ $P_C = 0.15$
- ✘ $P_D = 0.025$

$$P_E = P_A + P_B - (P_A \cdot P_B) = 3.0 \cdot 10^{-3} + 0.10 - (3.0 \cdot 10^{-3} \cdot 0.10) \approx 0.10$$

$$P_F = P_C + P_D - (P_C \cdot P_D) = 0.15 + 0.025 - (0.15 \cdot 0.025) \approx 0.17$$

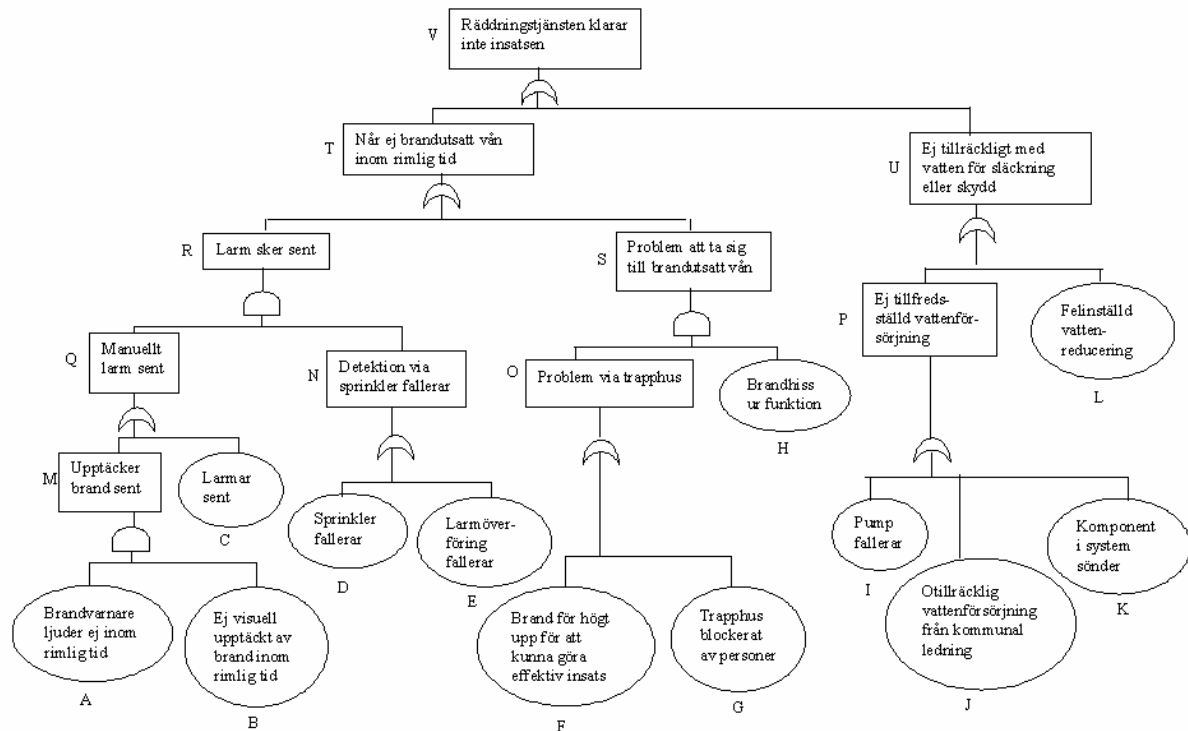
$$\Rightarrow P_G = P_E + P_F - (P_E \cdot P_F) = 0.10 + 0.17 - (0.10 \cdot 0.17) \approx 0.26$$

C.3 Händelse 5

Räddningstjänsten klarar inte insatsen inom 12 minuter (5):

Sannolikheten för att räddningstjänsten ska klara en insats är olika för de olika våningarna i byggnaden. Händelse 5 anges för de tre delarna bestående av: våning 1-8, våning 9-16 och våning 17-24. Topphändelsen beräknas utifrån bashändelserna, med hjälp av de räkneregler som utnyttjas för felträd. Indexen representerar händelserna i felträdet, se figur C.2.

C.3.1 Våning 1-8



Figur C-2 Felträdet beskriver orsakerna till att räddningstjänsten inte klarar insatsen. Alla händelser ges olika bokstäver för att precisera vilken som avses i beräkningarna.

Brandhiss finns

- ✗ $P_{A,I} = 0, P_{A,II} = 1$ (beräkningarna utförs för $P_{A,II} = 1$)
- ✗ $P_B = 0.05$
- ✗ $P_C = 0.05$
- ✗ $P_D = 1$
- ✗ $P_E = \text{försumbar}$
- ✗ $P_F = 0.01$
- ✗ $P_G = 0.05$
- ✗ $P_H = 0.01$
- ✗ $P_I = 0$
- ✗ $P_J = 1.0 \cdot 10^{-3}$
- ✗ $P_K = \text{försumbar}$
- ✗ $P_L = 0$

$$P_M = P_A \cdot P_B = 1 \cdot 0.05 = 0.05$$

$$P_N = P_D = 1$$

$$P_O = P_F + P_G - (P_F \cdot P_G) = 0.01 + 0.05 - (0.01 \cdot 0.05) \approx 0.06$$

$$P_P = P_I + P_J - (P_I \cdot P_J) = 0 + 1.0 \cdot 10^{-3} - (0 \cdot 1.0 \cdot 10^{-3}) \approx 1.0 \cdot 10^{-3}$$

$$P_Q = P_M + P_C - (P_M \cdot P_C) = 0.05 + 0.05 - (0.05 \cdot 0.05) \approx 0.098$$

$$P_R = P_Q \cdot P_N = 0.098 \cdot 1 = 0.098$$

$$P_S = P_O \cdot P_H = 0.06 \cdot 0.01 = 6.0 \cdot 10^{-4}$$

$$P_T = P_R + P_S - (P_R \cdot P_S) = 0.098 + 6.0 \cdot 10^{-4} - (0.098 \cdot 6.0 \cdot 10^{-4}) \approx 0.098$$

$$P_U = P_P + P_L - (P_P \cdot P_L) = 1.0 \cdot 10^{-3} + 0 - (1.0 \cdot 10^{-3} \cdot 0) = 1.0 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow P_{V, II} = P_T + P_U - (P_T \cdot P_U) = 0.098 + 1.0 \cdot 10^{-3} - (0.098 \cdot 1.0 \cdot 10^{-3}) \approx 0.099$$

På lika sätt görs uträkningarna för $P_{A, I} = 0$

$$\Rightarrow P_{V, I} = 0.051$$

Brandhiss finns ej

$$\times P_H = 1$$

\times Övriga parametrar samma som för då brandhiss finns.

Beräkningarna sker på samma sätt som tidigare.

$$\Rightarrow P_{V, II} = 0.15$$

$$\Rightarrow P_{V, I} = 0.11$$

C.3.2 Våning 9-16

Händelsen beräknas utifrån felträdet som redovisas i figur C.2.

Brandhiss finns

$$\times P_{A, I} = 0, P_{A, II} = 1 \text{ (beräkningarna utförs för } P_{A, II} = 1)$$

$$\times P_B = 0.05$$

$$\times P_C = 0.10$$

$$\times P_D = 1$$

$$\times P_E = \text{försumbar}$$

$$\times P_F = 0.60$$

$$\times P_G = 0.10$$

$$\times P_H = 0.01$$

$$\times P_I = 6.0 \cdot 10^{-4}$$

$$\times P_J = 1.0 \cdot 10^{-3}$$

$$\times P_K = \text{försumbar}$$

$$\times P_L = 0.05$$

$$P_M = P_A \cdot P_B = 1 \cdot 0.05 = 0.05$$

$$P_N = P_D = 1$$

$$P_O = P_F + P_G - (P_F \cdot P_G) = 0.60 + 0.10 - (0.60 \cdot 0.10) \approx 0.64$$

$$P_P = P_I + P_J - (P_I \cdot P_J) = 6.0 \cdot 10^{-4} + 1.0 \cdot 10^{-3} - (6.0 \cdot 10^{-4} \cdot 1.0 \cdot 10^{-3}) \approx 1.6 \cdot 10^{-3}$$

$$P_Q = P_M + P_C - (P_M \cdot P_C) = 0.05 + 0.10 - (0.05 \cdot 0.10) \approx 0.15$$

$$P_R = P_Q \cdot P_N = 0.15 \cdot 1 = 0.15$$

$$P_S = P_O \cdot P_H = 0.64 \cdot 0.01 = 0.0064$$

$$P_T = P_R + P_S - (P_R \cdot P_S) = 0.15 + 0.0064 - (0.15 \cdot 0.0064) \approx 0.15$$

$$P_U = P_P + P_L - (P_P \cdot P_L) = 1.6 \cdot 10^{-3} + 0.05 - (1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05) = 0.052$$

$$\Rightarrow P_{V, II} = P_T + P_U - (P_T \cdot P_U) = 0.15 + 0.052 - (0.15 \cdot 0.052) \approx 0.19$$

På lika sätt görs uträkningarna för $P_{A, I} = 0$

$$\Rightarrow P_{V, I} = 0.15$$

Brandhiss finns ej

- ✘ $P_H = 1$
- ✘ Övriga variabler är samma som för då brandhiss finns.

Beräkningarna sker på samma sätt som tidigare.

$$\Rightarrow P_{V,II} = 0.69$$

$$\Rightarrow P_{V,I} = 0.71$$

C.3.3 Våning 17-24

Händelsen beräknas utifrån felträdet som redovisas i figur C.2.

Brandhiss finns

- ✘ $P_{A,I} = 0, P_{A,II} = 1$ (beräkningarna utförs för $P_{A,II} = 1$)
- ✘ $P_B = 0.05$
- ✘ $P_C = 0.10$
- ✘ $P_D = 1$
- ✘ $P_E =$ försumbar
- ✘ $P_F = 0.80$
- ✘ $P_G = 0.15$
- ✘ $P_H = 0.01$
- ✘ $P_I = 6.0 \cdot 10^{-4}$
- ✘ $P_J = 1.0 \cdot 10^{-3}$
- ✘ $P_K =$ försumbar
- ✘ $P_L = 0.05$

$$P_M = P_A \cdot P_B = 1 \cdot 0.05 = 0.05$$

$$P_N = P_D = 1$$

$$P_O = P_F + P_G - (P_F \cdot P_G) = 0.80 + 0.15 - (0.80 \cdot 0.15) \approx 0.83$$

$$P_P = P_I + P_J - (P_I \cdot P_J) = 6.0 \cdot 10^{-4} + 1.0 \cdot 10^{-3} - (6.0 \cdot 10^{-4} \cdot 1.0 \cdot 10^{-3}) \approx 1.6 \cdot 10^{-3}$$

$$P_Q = P_M + P_C - (P_M \cdot P_C) = 0.05 + 0.10 - (0.05 \cdot 0.10) \approx 0.15$$

$$P_R = P_Q \cdot P_N = 0.15 \cdot 1 = 0.15$$

$$P_S = P_O \cdot P_H = 0.83 \cdot 0.01 = 8.3 \cdot 10^{-3}$$

$$P_T = P_R + P_S - (P_R \cdot P_S) = 0.15 + 8.3 \cdot 10^{-3} - (0.15 \cdot 8.3 \cdot 10^{-3}) \approx 0.15$$

$$P_U = P_P + P_L - (P_P \cdot P_L) = 1.6 \cdot 10^{-3} + 0.05 - (1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05) = 0.052$$

$$\Rightarrow P_{V,II} = P_T + P_U - (P_T \cdot P_U) = 0.15 + 0.052 - (0.15 \cdot 0.052) \approx 0.20$$

På lika sätt görs uträkningarna för $P_{A,I} = 0$

$$\Rightarrow P_{V,I} = 0.15$$

Brandhiss finns ej

- ✘ $P_H = 1$
- ✘ Övriga parametrar samma som för då brandhiss finns.

Beräkningarna sker på samma sätt som tidigare.

$$\Rightarrow P_{V, II} = 0.86$$

$$\Rightarrow P_{V, I} = 0.85$$

C.4 Händelse 6-16

Alla de resterande händelserna beräknas på motsvarande sätt som för händelse 4 och 5, d v s med hjälp av sina respektive felträd.

C.5 Förenklingar

C.5.1 Händelse 5

Händelse 5 anger om räddningstjänsten klarar insatsen eller inte. Sannolikheten som beräknas gäller för att de *inte* klarar insatsen och den antar olika värden beroende om brandvarnaren ljuder eller ej. Genom att räkna ut ett viktat medelvärde som representerar dessa, sker en förenkling. Ett exempel demonstrerar uträkningen av medelvärdet. Värdena som anges gäller för våning 1-8 och villkoret är att brandhiss finns:

$$\times P = 0.051 \text{ (då brandvarnaren ljuder)}$$

$$\times P = 0.099 \text{ (då brandvarnaren ej ljuder)}$$

$$\times \text{Brandvarnare ljuder: } P = 0.73$$

$$\times \text{Brandvarnare ljuder ej: } P = 1 - 0.73 = 0.27$$

$$\Rightarrow P_{\text{medelvärde}} = 0.73 \cdot 0.051 + 0.27 \cdot 0.099 \approx 0.064$$

Det viktade medelvärdet används i analysen för att förenkla processen. Beräkningen utförs på samma sätt för att erhålla värdet på sannolikheten då brandhiss inte finns. Likaså genomförs beräkningsgången på motsvarande sätt för våning 9-16 och för våning 17-24.

C.5.2 Händelse 11

Händelse 11 anger hur stor sannolikheten är att de övre våningarna ska fyllas med brandgaser. Ett problem är att sannolikheten antar olika värden, beroende om slussen fyllts innan eller ej. För att göra en förenkling av detta beräknas ett viktat medelvärde. Ett exempel ges och värdena förutsätter att trycksättning finns:

$$\times P = 3.1 \cdot 10^{-3} \text{ (då sluss fyllts innan)}$$

$$\times P = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ (då sluss ej fyllt innan)}$$

$$\times \text{Sluss fylld innan: } P = 0.26$$

$$\times \text{Slussen ej fylld innan: } P = 1 - 0.26 = 0.74$$

$$\Rightarrow P_{\text{medelvärde}} = 0.26 \cdot 3.1 \cdot 10^{-3} + 0.74 \cdot 1.4 \cdot 10^{-3} = 2.2 \cdot 10^{-3}$$

Detta medelvärde används fortsättningsvis i analysen. För att erhålla siffrorna för då trycksättning inte finns, görs uträkningen på samma sätt.

C.6 Sammanställning

En sammanställning över sannolikheterna för händelserna som ingår i händelseträdet presenteras för våning 1-8 och förutsättningen är att skyddssystemen finns i byggnaden, se tabell C.11.

Initialhändelse:

1. Brand uppstår i en lägenhet och slocknar/släcks ej manuellt: $Z = 8.9 \cdot 10^{-4}$

Tabell C-1 I tabellen redovisas händelserna som bildar händelseträdet i analysen. Sannolikheterna anges för deras respektive ja-gren och nej-gren.

HÄNDELSE I HÄNDELSETRÄDET	JA-GRENEN P	NEJ-GRENEN P
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0,73	0,27
3. Sprinkler släcker eller begränsar branden?	0,95	0,05
4. Brandgasspridning sker till sluss?	0,26	0,74
5. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 12 min?	0,93	0,07
6. Brandgaser blockerar trapphuset?	0,045	0,955
7. Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?	0,078	0,922
8. Brandspridning sker till lägenhet 2?	1	0
9. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0,73	0,27
10. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	0,02	0,98
11. Brandgasspridning sker till de övre våningarna?	$1.9 \cdot 10^{-3}$	0,998
12. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 22 min?	0,948	0,052
13. Brandspridning sker till lägenhet 3?	1	0
14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0,73	0,27
15. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	0,02	0,98
16. Räddningstjänsten klarar insatsen inom 32 min?	0,999	$1.0 \cdot 10^{-3}$

D BERÄKNING AV RISK – HÖG BYGGNAD

Risken för byggnaden beräknas och anges med hjälp av medelrisk och F/N-diagram. I den här bilagan presenteras beräkningsgången för den höga byggnaden, och de värden som utnyttjas gäller med utgångsläget (skyddssystemen finns) som grund och för fallet då brandvarnaren ljuder. Uträkningarna delas upp i tre delar, våning 1-8, våning 9-16 och våning 17-24, eftersom resultaten för dessa är olika. Då beräkningarna har utförts och risken erhålls för *en* lägenhet kan risken bestämmas för en del (åtta våningar) med 16 lägenheter eftersom risken antas vara samma för varje lägenhet i en del. Vid en summering av de tre delarna erhålls byggnadens totala risk.

D.1 Beräkning för våning 1-8

Riskenivån för byggnaden bestäms genom att först fastställa konsekvensen och sannolikheten för de olika händelserna som ingår i händelseträdet, samt frekvensen på initialhändelsen. Därefter kombineras sannolikheterna och frekvensen ihop för att bilda slutfrekvensen för varje scenario. Konsekvensen för varje scenario bestäms också utifrån vilka händelser som ingår. De 61 olika scenarierna har då tilldelats både en slutkonsekvens och en slutfrekvens. Ett F/N-diagram skapas sedan och medelrisken (förväntat antal drabbade per år) beräknas.

D.1.1 Konsekvenser

Händelserna i händelseträdet ger olika värden på konsekvensen för ja-grenen och för nej-grenen. De konsekvenser som används i analysen för att bestämma konsekvensen för varje scenario redovisas i tabell D.1.

1. Brand uppstår i en lägenhet är initialhändelsen.

Tabell D-1 Konsekvenser för de olika händelserna i trädet för utgångsläget och då brandvarnaren ljuder.

HÄNDELSE	JA-GREN	NEJ-GREN
	(max antal drabbade) N	(max antal drabbade) N
2. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
3. Sprinkler begränsar eller släcker branden?	0	0
4. Brandgasspridning sker till sluss?	0	0
5. Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0	0
6. Brandgaser blockerar trapphuset?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
7. Brandgasspridning till lägenhet mitt emot?	3	0
8. Brandspridning sker till lägenhet 2?	3*	0
9. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
10. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
11. Brandgasspridning till de övre våningarna?	8	0
12. Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0	0
13. Brandspridning sker till lägenhet 3?	3*	0
14. Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0	1
15. Brandgaser blockerar trapphuset senare?	Påverkar senare (* och **)	Påverkar senare (* och **)
16. Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0	5**

* Då trapphuset inte är rökfyllt blir konsekvensen mindre och beror av brandvarnaren:

Brandvarnaren ljuder => N= 0

Brandvarnaren ljuder ej => N= 1

** Då trapphuset inte är rökfyllt:

=> N= 3

D.1.2 Sannolikheter

De sannolikheter som används för varje händelse som kan inträffa då brand uppstår, presenteras i tabell D.2 och gäller för våning 1-8. Några av händelserna förekommer flera gånger i trädet (brandvarnare ljuder och trapphuset blockeras senare). Varje gren tilldelas en bokstav som används senare för att definiera vilka händelser som de 61 scenarierna består av.

Brand uppstår i en lägenhet och slocknar/släcks ej manuellt: $Z = 8.9 \cdot 10^{-4}$ (y)

Tabell D-2 I tabellen redovisas händelserna som bildar händelseträdet i analysen. Sannolikheterna anges för deras respektive ja-gren och nej-gren.

HÄNDELSE	JA-GREN P	NEJ-GREN P
Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0.73 (a)	0.26 (b)
Sprinkler släcker eller begränsar branden?	0.95 (c)	0.05 (d)
Brandgasspridning sker till sluss?	0.26 (e)	0.74 (f)
Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0.93 (g)	0.07 (h)
Brandgaser blockerar trapphuset?	0.045 (i)	0.955 (j)
Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?	0.078 (k)	0.922 (l)
Brandspridning sker till lägenhet 2?	1 (m)	0 (n)
Brandgaser blockerar trapphuset senare?	0.02 (o)	0.98 (p)
Brandgasspridning sker till de övre vån?	$1.9 \cdot 10^{-3}$ (q)	0.998 (r)
Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0.948 (s)	0.052 (t)
Brandspridning sker till lägenhet 3?	1 (u)	0 (v)
Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0.999 (w)	$1.0 \cdot 10^{-3}$ (x)

D.1.3 Totalt 61 scenarier

Händelseträdet bildar (efter förenklingar som gjorts) totalt 61 scenarier. Alla händelser som ingår i varje scenario tilldelas sannolikheterna som definierats i tabell D.2 och anges med hjälp av de bokstäver som följer efter värdena. Tillsammans med frekvensen för att brand uppstår, erhålls en slutfrekvensen för varje scenario. För varje scenario bestäms även dess slutkonsekvens med antal drabbade, N, utifrån tabell D.1. Då slutfrekvens och slutkonsekvens är kända kan medelrisken räknas ut. Resultaten presenteras i tabell D.3 för alla scenarierna, nr 1-61. Frekvensen beräknas för en lägenhet, men den anges även för 16 lägenheter, eftersom våning 1-8 består av 16 lägenheter totalt och risken antas vara lika stor för alla 16 lägenheterna. Medelrisken anges för 16 lägenheter och beräknas på följande sätt:

$$\text{Medelrisk} = \sum_{i=1}^{61} Z_i \cdot N_i \quad [13, \text{kap 4.4.3}]$$

Tabell D-3 Alla de ingående händelserna visas för varje scenario, 1-61. Slutfrekvens och slutkonsekvens anges och de ger värdet på medelrisken. Frekvensen ges för både en lägenhet och för 16 lägenheter.

NR	INGÅENDE HÄNDELSE	SLUT-FREKVENS (en lgh) Z	SLUT-FREKVENS (16 lgh: er) Z	SLUT-KONSEKVEN S N	MEDEL-RISK (16 lgh: er) antal/år
1	c · y	8.4E-04	1.3E-02	0	0
2	g · e · d · y	1.0E-05	1.7E-04	0	0
3	s · q · m · k · i · h · e · d · y	5.9E-12	9.4E-11	15	1.4E-09
4	w · u · t · q · m · k · i · h · e · d · y	3.2E-13	5.1E-12	18	9.2E-11
5	x · u · t · q · m · k · i · h · e · d · y	3.2E-16	5.1E-15	23	1.2E-13
6	s · r · m · k · i · h · e · d · y	3.2E-09	5.1E-08	7	3.6E-07

7	w·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	1.7E-10	2.8E-09	10	2.8E-08
8	x·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	1.7E-13	2.8E-12	15	4.1E-11
9	s·q·m·l·i·h·e·d·y	7.0E-11	1.1E-09	12	1.3E-08
10	w·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	3.8E-12	6.1E-11	15	9.1E-10
11	x·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	3.8E-15	6.1E-14	20	1.2E-12
12	s·r·m·l·I·h·e·d·y	3.8E-08	6.0E-07	4	2.4E-06
13	w·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	2.0E-09	3.3E-08	7	2.3E-07
14	x·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	2.0E-12	3.3E-11	12	3.9E-10
15	s·q·o·m·k·j·h·e·d·y	2.5E-12	4.0E-11	9	3.6E-10
16	w·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-13	2.1E-12	12	2.6E-11
17	x·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-16	2.1E-15	17	3.7E-14
18	s·r·o·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-09	2.1E-08	1	2.1E-08
19	w·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	7.2E-11	1.2E-09	4	4.6E-09
20	x·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	7.2E-14	1.2E-12	9	1.0E-11
21	s·q·p·m·k·j·h·e·d·y	1.2E-10	2.0E-09	9	1.8E-08
22	w·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-13	2.1E-12	9	1.9E-11
23	x·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-16	2.1E-15	14	2.9E-14
24	w·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	6.5E-12	1.0E-10	8	8.4E-10
25	x·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	6.6E-15	1.0E-13	13	1.4E-12
26	s·r·p·m·k·j·h·e·d·y	6.6E-08	1.1E-06	1	1.1E-06
27	w·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	7.1E-11	1.1E-09	1	1.1E-09
28	x·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	7.1E-14	1.1E-12	6	6.8E-12
29	w·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	3.5E-09	5.6E-08	1	5.6E-08
30	x·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	3.5E-12	5.6E-11	4	2.3E-10
31	s·q·o·m·l·j·h·e·d·y	2.9E-11	4.7E-10	8	3.8E-09
32	w·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-12	2.5E-11	11	2.8E-10
33	x·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-15	2.5E-14	16	4.1E-13
34	s·r·o·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-08	2.5E-07	0	0
35	w·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	8.6E-10	1.4E-08	3	4.1E-08
36	x·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	8.6E-13	1.4E-11	8	1.1E-10
37	s·q·p·m·l·j·h·e·d·y	1.5E-09	2.3E-08	8	1.9E-07
38	w·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-12	2.5E-11	8	2.0E-10
39	x·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-15	2.5E-14	13	3.2E-13
40	w·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	7.8E-11	1.2E-09	8	9.9E-09
41	x·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	7.8E-14	1.2E-12	11	1.4E-11
42	s·r·p·m·l·j·h·e·d·y	7.9E-07	1.3E-05	0	0
43	w·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	8.4E-10	1.3E-08	0	0
44	x·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	8.4E-13	1.3E-11	5	6.7E-11
45	w·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	4.2E-08	6.7E-07	0	0
46	x·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	4.2E-11	6.7E-10	3	2.0E-09
47	g·f·d·y	3.0E-05	4.8E-04	0	0
48	s·q·m·h·f·d·y	4.9E-09	7.8E-08	8	6.3E-07
49	w·u·o·t·q·m·h·f·d·y	5.2E-12	8.4E-11	11	9.2E-10
50	x·u·o·t·q·m·h·f·d·y	5.2E-15	8.4E-14	16	1.3E-12
51	w·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	5.1E-12	8.2E-11	8	6.6E-10
52	x·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	5.1E-15	8.2E-14	13	1.1E-12
53	w·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	2.6E-10	4.1E-09	8	3.3E-08
54	x·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	2.6E-13	4.1E-12	11	4.5E-11
55	s·r·m·h·f·d·y	2.6E-06	4.2E-05	0	0
56	w·u·o·t·r·m·h·f·d·y	2.8E-09	4.5E-08	3	1.4E-07
57	x·u·o·t·r·m·h·f·d·y	2.8E-12	4.5E-11	8	3.6E-10
58	w·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	2.8E-09	4.4E-08	0	0
59	x·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	2.8E-12	4.4E-11	5	2.2E-10
60	w·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.4E-07	2.2E-06	0	0
61	x·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.4E-10	2.2E-09	3	6.6E-09
				Σ Medelrisk:	5.3E-06

D.2 Beräkning för våning 9-16

Beräkningsgången utförs på samma vis som för våning 1-8, dock med nya värden som gäller för våning 9-16.

D.2.1 Konsekvenser

Konsekvenserna som används i analysen för våning 1-8, är applicerbara även på våning 9-16. De presenteras utförligt i tabell D.1.

D.2.2 Sannolikheter

De sannolikheterna som används för varje händelse som kan inträffa då brand uppstår, presenteras i tabell D.4 och gäller för våning 9-16. Några av händelserna förekommer flera gånger i trädet (brandvarnare ljuder och trapphus blockeras senare). Varje gren tilldelas en bokstav som används senare för att definiera de 61 scenarierna.

Brand uppstår i en lägenhet och slocknar/släcks ej manuellt: $Z = 8.9 \cdot 10^{-4}$ (y)

Tabell D-4 I tabellen redovisas händelserna som bildar händelseträdet i analysen. Sannolikheterna anges för deras respektive ja-gren och nej-gren.

HÄNDELSE	JA-GREN P	NEJ-GREN P
Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0.73 (a)	0.27 (b)
Sprinkler släcker eller begränsar branden?	0.95 (c)	0.05 (d)
Brandgasspridning sker till sluss?	0.26 (e)	0.74 (f)
Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0.83 (g)	0.17 (h)
Brandgaser blockerar trapphuset?	0.045 (i)	0.955 (j)
Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?	0.078 (k)	0.922 (l)
Brandspridning sker till lägenhet 2?	1 (m)	0 (n)
Brandgaser blockerar trapphuset senare?	0.02 (o)	0.98 (p)
Brandgasspridning sker till de övre vån?	$1.9 \cdot 10^{-3}$ (q)	0.998 (r)
Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0.90 (s)	0.10 (t)
Brandspridning sker till lägenhet 3?	1 (u)	0 (v)
Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0.972 (w)	0.028 (x)

D.2.3 Totalt 61 scenarier

Händelseträdet som utnyttjas för analysen består av 61 scenarier. Alla händelser som ingår i varje scenario, tilldelas sannolikheterna som definierats i tabell D.4, genom att använda bokstäverna som följer efter värdena. Dessa sannolikheter, tillsammans med frekvensen för att brand uppstår, bildar de 61 scenarierna och ger slutfrekvensen för varje scenario. Även slutkonsekvenserna bestäms och de antar samma värden som för våning 1-8, se tabell D.1. Då slutfrekvens och slutkonsekvens är kända, kan medelrisken räknas ut. Resultaten åskådliggörs i tabell D.5 för alla scenarierna, nr 1-61. Frekvensen beräknas för en lägenhet, men den anges även för 16 lägenheter, eftersom våning 9-16 består av 16 lägenheter totalt. Medelrisken anges för 16 lägenheter och beräknas på följande sätt:

$$\text{Medelrisk} = \sum_{i=1}^{61} Z_i \cdot N_i \quad [13, \text{kap 4.4.3}]$$

Tabell D-5 Alla de ingående händelserna visas för varje scenario, 1-61. Slutfrekvens och slutkonsekvens anges och de ger värdet på medelrisken. Frekvensen ges för både en lägenhet och för 16 lägenheter.

NR	INGÅENDE HÄNDELSE	SLUT-FREKVENNS (en lgh) Z	SLUT-FREKVENNS (16 lgh: er) Z	SLUT-KONSEKVENNS N	MEDEL-RISK (16 lgh: er) antal/år
1	c·y	8.4E-04	1.3E-02	0	0
2	g·e·d·y	9.3E-06	1.5E-04	0	0
3	s·q·m·k·i·h·e·d·y	1.2E-11	1.9E-10	15	2.9E-09
4	w·u·t·q·m·k·i·h·e·d·y	1.3E-12	2.1E-11	18	3.8E-10
5	x·u·t·q·m·k·i·h·e·d·y	3.7E-14	6.0E-13	23	1.4E-11
6	s·r·m·k·l·h·e·d·y	6.5E-09	1.0E-07	7	7.2E-07
7	w·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	7.1E-10	1.1E-08	10	1.1E-07
8	x·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	2.0E-11	3.2E-10	15	4.8E-09
9	s·q·m·l·i·h·e·d·y	1.4E-10	2.3E-09	12	2.7E-08
10	w·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	1.6E-11	2.5E-10	15	3.7E-09
11	x·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	4.4E-13	7.1E-12	20	1.4E-10
12	s·r·m·l·l·h·e·d·y	7.7E-08	1.2E-06	4	4.9E-06
13	w·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	8.4E-09	1.3E-07	7	9.4E-07
14	x·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	2.4E-10	3.8E-09	12	4.6E-08
15	s·q·o·m·k·j·h·e·d·y	5.0E-12	8.0E-11	9	7.2E-10
16	w·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	5.5E-13	8.8E-12	12	1.1E-10
17	x·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	1.6E-14	2.5E-13	17	4.3E-12
18	s·r·o·m·k·j·h·e·d·y	2.7E-09	4.3E-08	1	4.3E-08
19	w·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	3.0E-10	4.7E-09	4	1.9E-08
20	x·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	8.4E-12	1.3E-10	9	1.2E-09
21	s·q·p·m·k·j·h·e·d·y	2.5E-10	4.0E-09	9	3.6E-08
22	w·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	5.4E-13	8.6E-12	9	7.8E-11
23	x·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	1.5E-14	2.5E-13	14	3.4E-12
24	w·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	2.7E-11	4.3E-10	8	3.4E-09
25	x·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	7.6E-13	1.2E-11	13	1.6E-10
26	s·r·p·m·k·j·h·e·d·y	1.3E-07	2.2E-06	1	2.2E-06
27	w·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	2.9E-10	4.7E-09	1	4.7E-09
28	x·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	8.3E-12	1.3E-10	6	7.9E-10
29	w·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	1.4E-08	2.3E-07	1	2.3E-07
30	x·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	4.1E-10	6.6E-09	4	2.6E-08
31	s·q·o·m·l·j·h·e·d·y	6.0E-11	9.5E-10	8	7.6E-09
32	w·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	6.5E-12	1.0E-10	11	1.2E-09
33	x·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	1.9E-13	3.0E-12	16	4.8E-11
34	s·r·o·m·l·j·h·e·d·y	3.2E-08	5.1E-07	0	0
35	w·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	3.5E-09	5.6E-08	3	1.7E-07
36	x·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	1.0E-10	1.6E-09	8	1.3E-08
37	s·q·p·m·l·j·h·e·d·y	3.0E-09	4.7E-08	8	3.8E-07
38	w·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	6.4E-12	1.0E-10	8	8.2E-10
39	x·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	1.8E-13	2.9E-12	13	3.8E-11
40	w·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	3.2E-10	5.1E-09	8	4.1E-08
41	x·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	9.1E-12	1.4E-10	11	1.6E-09
42	s·r·p·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-06	2.6E-05	0	0
43	w·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	3.4E-09	5.5E-08	0	0
44	x·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	9.8E-11	1.6E-09	5	7.8E-09
45	w·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	1.7E-07	2.7E-06	0	0
46	x·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	4.9E-09	7.8E-08	3	2.3E-07
47	g·f·d·y	2.7E-05	4.3E-04	0	0
48	s·q·m·h·f·d·y	1.0E-08	1.6E-07	8	1.3E-06
49	w·u·o·t·q·m·h·f·d·y	2.2E-11	3.4E-10	11	3.8E-09
50	x·u·o·t·q·m·h·f·d·y	6.1E-13	9.8E-12	16	1.6E-10

51	w·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	2.1E-11	3.4E-10	8	2.7E-09
52	x·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	6.0E-13	9.6E-12	13	1.2E-10
53	w·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	1.1E-09	1.7E-08	8	1.3E-07
54	x·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	3.0E-11	4.8E-10	11	5.2E-09
55	s·r·m·h·f·d·y	5.4E-06	8.6E-05	0	0
56	w·u·o·t·r·m·h·f·d·y	1.2E-08	1.9E-07	3	5.6E-07
57	x·u·o·t·r·m·h·f·d·y	3.3E-10	5.3E-09	8	4.2E-08
58	w·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.1E-08	1.8E-07	0	0
59	x·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	3.2E-10	5.2E-09	5	2.6E-08
60	w·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	5.7E-07	9.0E-06	0	0
61	x·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.61E-08	2.6E-07	3	7.7E-07
				Σ Medelrisk:	1.3E-05

D.3 Beräkning för våning 17-24

Beräkningsgången utförs på samma vis som för de underliggande våningarna, dock med nya värden som gäller för våning 17-24.

D.3.1 Konsekvenser

Konsekvenserna som används i analysen för våning 1-8 och 9-16, gäller även för våning 17-24. De presenteras utförligt i tabell D.1.

D.3.2 Sannolikheter

De sannolikheterna som används för varje händelse, som kan inträffa då brand uppstår, framställs i tabell D.6, och gäller för våning 17-24. Några av händelserna förekommer flera gånger i trädet (brandvarnare ljuder och trapphus blockeras senare). Varje gren tilldelas en bokstav som används senare för att definiera de 61 scenarierna.

Brand uppstår i en lägenhet och slocknar/släcks ej manuellt: $Z = 8.9 \cdot 10^{-4}$ (y)

Tabell D-6 I tabellen redovisas händelserna som bildar händelseträdet i analysen. Sannolikheterna anges för deras respektive ja-gren och nej-gren.

HÄNDELSE	JA-GREN P	NEJ-GREN P
Brandvarnare ljuder inom rimlig tid?	0.73 (a)	0.27 (b)
Sprinkler släcker eller begränsar branden?	0.95 (c)	0.05 (d)
Brandgasspridning sker till sluss?	0.26 (e)	0.74 (f)
Räddningstjänsten klarar insats inom 12 min?	0.83 (g)	0.17 (h)
Brandgaser blockerar trapphuset?	0.045 (i)	0.955 (j)
Brandgasspridning sker till lägenhet mitt emot?	0.078 (k)	0.922 (l)
Brandspridning sker till lägenhet 2?	1 (m)	0 (n)
Brandgaser blockerar trapphuset senare?	0.02 (o)	0.98 (p)
Brandgasspridning till de övre vån?	$1.9 \cdot 10^{-3}$ (q)	0.998 (r)
Räddningstjänsten klarar insats inom 22 min?	0.90 (s)	0.1 (t)
Brandspridning sker till lägenhet 3?	1 (u)	0 (v)
Räddningstjänsten klarar insats inom 32 min?	0.972 (w)	0.028 (x)

D.3.3 Totalt 61 scenarier

Händelseträdet som utnyttjas för analysen består av 61 scenarier. Alla händelser som ingår i varje scenario tilldelas sannolikheterna som definierats i tabell D.6. I tabell D.7, presenteras de uträknade parametrarna, precis som för de underliggande våningarna.

Tabell D-7 Alla de ingående händelserna visas för varje scenario, 1-61. Slutfrekvens och slutkonsekvens anges och de ger värdet på medelrisken. Frekvensen ges för både en lägenhet och för 16 lägenheter.

NR	INGÅENDE HÄNDELSE	SLUT-FREKVENS (en lgh) Z	SLUT-FREKVENS (16 lgh: er) Z	SLUT-KONSEKVENNS N	MEDEL-RISK (16 lgh: er) antal/år
1	c·y	8.4E-04	1.3E-02	0	0
2	g·e·d·y	9.3E-06	1.5E-04	0	0
3	s·q·m·k·i·h·e·d·y	1.2E-11	1.9E-10	15	2.9E-09
4	w·u·t·q·m·k·i·h·e·d·y	1.4E-12	2.2E-11	18	3.9E-10
5	x·u·t·q·m·k·i·h·e·d·y	4.0E-14	6.4E-13	23	1.5E-11
6	s·r·m·k·l·h·e·d·y	6.5E-09	1.0E-07	7	7.3E-07
7	w·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	7.3E-10	1.2E-08	10	1.2E-07
8	x·u·t·r·m·k·i·h·e·d·y	2.2E-11	3.5E-10	15	5.2E-09
9	s·q·m·l·i·h·e·d·y	1.4E-10	2.3E-09	12	2.7E-08
10	w·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	1.6E-11	2.6E-10	15	3.8E-09
11	x·u·t·q·m·l·i·h·e·d·y	4.8E-13	7.6E-12	20	1.5E-10
12	s·r·m·l·l·h·e·d·y	7.7E-08	1.2E-06	4	4.9E-06
13	w·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	8.6E-09	1.4E-07	7	9.7E-07
14	x·u·t·r·m·l·i·h·e·d·y	2.6E-10	4.1E-09	12	4.9E-08
15	s·q·o·m·k·j·h·e·d·y	5.1E-12	8.1E-11	9	7.3E-10
16	w·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	5.7E-13	9.0E-12	12	1.1E-10
17	x·u·t·q·o·m·k·j·h·e·d·y	1.7E-14	2.7E-13	17	4.6E-12
18	s·r·o·m·k·j·h·e·d·y	2.7E-09	4.4E-08	1	4.4E-08
19	w·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	3.0E-10	4.9E-09	4	1.9E-08
20	x·u·t·r·o·m·k·j·h·e·d·y	9.1E-12	1.4E-10	9	1.3E-09
21	s·q·p·m·k·j·h·e·d·y	2.5E-10	4.0E-09	9	3.6E-08
22	w·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	5.5E-13	8.9E-12	9	8.0E-11
23	x·o·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	1.6E-14	2.6E-13	14	3.7E-12
24	w·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	2.8E-11	4.4E-10	8	3.5E-09
25	x·p·u·t·q·p·m·k·j·h·e·d·y	8.2E-13	1.3E-11	13	1.7E-10
26	s·r·p·m·k·j·h·e·d·y	1.4E-07	2.2E-06	1	2.2E-06
27	w·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	3.0E-10	4.8E-09	1	4.8E-09
28	x·o·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	8.9E-12	1.4E-10	6	8.5E-10
29	w·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	1.5E-08	2.4E-07	1	2.4E-07
30	x·p·u·t·r·p·m·k·j·h·e·d·y	4.4E-10	7.1E-09	4	2.8E-08
31	s·q·o·m·l·j·h·e·d·y	6.0E-11	9.6E-10	8	7.7E-09
32	w·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	6.7E-12	1.1E-10	11	1.2E-09
33	x·u·t·q·o·m·l·j·h·e·d·y	2.0E-13	3.2E-12	16	5.1E-11
34	s·r·o·m·l·j·h·e·d·y	3.2E-08	5.2E-07	0	0
35	w·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	3.6E-09	5.8E-08	3	1.7E-07
36	x·u·t·r·o·m·l·j·h·e·d·y	1.1E-10	1.7E-09	8	1.4E-08
37	s·q·p·m·l·j·h·e·d·y	3.0E-09	4.8E-08	8	3.8E-07
38	w·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	6.6E-12	1.1E-10	8	8.4E-10
39	x·o·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	2.0E-13	3.1E-12	13	4.1E-11
40	w·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	3.3E-10	5.2E-09	8	4.2E-08
41	x·p·u·t·q·p·m·l·j·h·e·d·y	9.7E-12	1.6E-10	11	1.7E-09
42	s·r·p·m·l·j·h·e·d·y	1.6E-06	2.6E-05	0	0
43	w·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	3.5E-09	5.7E-08	0	0
44	x·o·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	1.1E-10	1.7E-09	5	8.4E-09

45	w·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	1.8E-07	2.8E-06	0	0.0E+00
46	x·p·u·t·r·p·m·l·j·h·e·d·y	5.2E-09	8.4E-08	3	2.5E-07
47	g·f·d·y	2.7E-05	4.3E-04	0	0
48	s·q·m·h·f·d·y	1.0E-08	1.6E-07	8	1.3E-06
49	w·u·o·t·q·m·h·f·d·y	2.2E-11	3.5E-10	11	3.9E-09
50	x·u·o·t·q·m·h·f·d·y	6.6E-13	1.1E-11	16	1.7E-10
51	w·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	2.2E-11	3.5E-10	8	2.8E-09
52	x·o·u·p·t·q·m·h·f·d·y	6.4E-13	1.0E-11	13	1.3E-10
53	w·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	1.1E-09	1.7E-08	8	1.4E-07
54	x·p·u·p·t·q·m·h·f·d·y	3.2E-11	5.1E-10	11	5.6E-09
55	s·r·m·h·f·d·y	5.4E-06	8.6E-05	0	0
56	w·u·o·t·r·m·h·f·d·y	1.2E-08	1.9E-07	3	5.7E-07
57	x·u·o·t·r·m·h·f·d·y	3.5E-10	5.7E-09	8	4.5E-08
58	w·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.2E-08	1.9E-07	0	0
59	x·o·u·p·t·r·m·h·f·d·y	3.5E-10	5.5E-09	5	2.8E-08
60	w·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	5.8E-07	9.3E-06	0	0
61	x·p·u·p·t·r·m·h·f·d·y	1.7E-08	2.8E-07	3	8.3E-07
				Σ Medelrisk:	1.3E-05

D.4 Hela byggnaden totalt – 24 våningar

Scenarierna för våning 1-8, 9-16 och 17-24 är definierade med avseende på slutfrekvens, slutkonsekvens och medelrisk. Risknivån kan då bestämmas för hela byggnaden. Det utförs med hjälp av F/N-diagram och medelrisk.

D.4.1 F/N-diagram

För att bestämma risken med F/N-diagram för hela byggnaden läggs alla scenarier ihop. För varje del, bestående av åtta våningar, används frekvensen som motsvarar 16 lägenheter (två lägenheter per våning). Frekvens och konsekvens redovisas för samtliga scenarier i tabell D.8.

Tabell D-8 Scenarierna för hela byggnaden, med deras frekvens och konsekvens.

NR	FREKVENNS F	KONSEKVENNS N
1	1.3E-02	0
2	1.7E-04	0
3	9.4E-11	15
4	5.1E-12	18
5	5.1E-15	23
6	5.1E-08	7
7	2.8E-09	10
8	2.8E-12	15
9	1.1E-09	12
10	6.1E-11	15
11	6.1E-14	20
12	6.0E-07	4
13	3.3E-08	7
14	3.3E-11	12
15	4.0E-11	9
16	2.1E-12	12
17	2.1E-15	17
18	2.1E-08	1
19	1.2E-09	4
20	1.2E-12	9
21	2.0E-09	9
22	2.1E-12	9
23	2.1E-15	14
24	1.0E-10	8
25	1.0E-13	13

26	1.1E-06	1
27	1.1E-09	1
28	1.1E-12	6
29	5.6E-08	1
30	5.6E-11	4
31	4.7E-10	8
32	2.5E-11	11
33	2.5E-14	16
34	2.5E-07	0
35	1.4E-08	3
36	1.4E-11	8
37	2.3E-08	8
38	2.5E-11	8
39	2.5E-14	13
40	1.2E-09	8
41	1.2E-12	11
42	1.3E-05	0
43	1.3E-08	0
44	1.3E-11	5
45	6.7E-07	0
46	6.7E-10	3
47	4.8E-04	0
48	7.8E-08	8
49	8.4E-11	11
50	8.4E-14	16
51	8.2E-11	8
52	8.2E-14	13
53	4.1E-09	8

54	4.1E-12	11
55	4.2E-05	0
56	4.5E-08	3
57	4.5E-11	8
58	4.4E-08	0
59	4.4E-11	5
60	2.2E-06	0
61	2.2E-09	3
62	1.3E-02	0
63	1.5E-04	0
64	1.9E-10	15
65	2.1E-11	18
66	6.0E-13	23
67	1.0E-07	7
68	1.1E-08	10
69	3.2E-10	15
70	2.3E-09	12
71	2.5E-10	15
72	7.1E-12	20
73	1.2E-06	4
74	1.3E-07	7
75	3.8E-09	12
76	8.0E-11	9
77	8.8E-12	12
78	2.5E-13	17
79	4.3E-08	1
80	4.7E-09	4
81	1.3E-10	9
82	4.0E-09	9
83	8.6E-12	9
84	2.5E-13	14
85	4.3E-10	8
86	1.2E-11	13
87	2.2E-06	1
88	4.7E-09	1
89	1.3E-10	6
90	2.3E-07	1
91	6.6E-09	4
92	9.5E-10	8
93	1.0E-10	11
94	3.0E-12	16
95	5.1E-07	0
96	5.6E-08	3
97	1.6E-09	8
98	4.7E-08	8
99	1.0E-10	8
100	2.9E-12	13
101	5.1E-09	8
102	1.4E-10	11
103	2.6E-05	0
104	5.5E-08	0
105	1.6E-09	5
106	2.7E-06	0
107	7.8E-08	3
108	4.3E-04	0
109	1.6E-07	8
110	3.4E-10	11
111	9.8E-12	16
112	3.4E-10	8
113	9.6E-12	13
114	1.7E-08	8
115	4.8E-10	11
116	8.6E-05	0
117	1.9E-07	3
118	5.3E-09	8
119	1.8E-07	0
120	5.2E-09	5
121	9.0E-06	0
122	2.6E-07	3
123	1.3E-02	0
124	1.5E-04	0
125	1.9E-10	15
126	2.2E-11	18
127	6.4E-13	23

128	1.0E-07	7
129	1.2E-08	10
130	3.5E-10	15
131	2.3E-09	12
132	2.6E-10	15
133	7.6E-12	20
134	1.2E-06	4
135	1.4E-07	7
136	4.1E-09	12
137	8.1E-11	9
138	9.0E-12	12
139	2.7E-13	17
140	4.4E-08	1
141	4.9E-09	4
142	1.4E-10	9
143	4.0E-09	9
144	8.9E-12	9
145	2.6E-13	14
146	4.4E-10	8
147	1.3E-11	13
148	2.2E-06	1
149	4.8E-09	1
150	1.4E-10	6
151	2.4E-07	1
152	7.1E-09	4
153	9.6E-10	8
154	1.1E-10	11
155	3.2E-12	16
156	5.2E-07	0
157	5.8E-08	3
158	1.7E-09	8
159	4.8E-08	8
160	1.1E-10	8
161	3.1E-12	13
162	5.2E-09	8
163	1.6E-10	11
164	2.6E-05	0
165	5.7E-08	0
166	1.7E-09	5
167	2.8E-06	0
168	8.4E-08	3
169	4.3E-04	0
170	1.6E-07	8
171	3.5E-10	11
172	1.1E-11	16
173	3.5E-10	8
174	1.0E-11	13
175	1.7E-08	8
176	5.1E-10	11
177	8.6E-05	0
178	1.9E-07	3
179	5.7E-09	8
180	1.9E-07	0
181	5.5E-09	5
182	9.3E-06	0
183	2.8E-07	3

Resultatet av dessa värden beskrivs med ett F/N-diagram. För att kunna konstruera ett F/N-diagram sorteras alla värden i tabell D.8 efter fallande konsekvens och frekvensen anges i kumulativ form. De scenarier som ger noll i konsekvens elimineras, eftersom de inte bidrar till risken. Siffrorna åskådliggörs i tabell D.9.

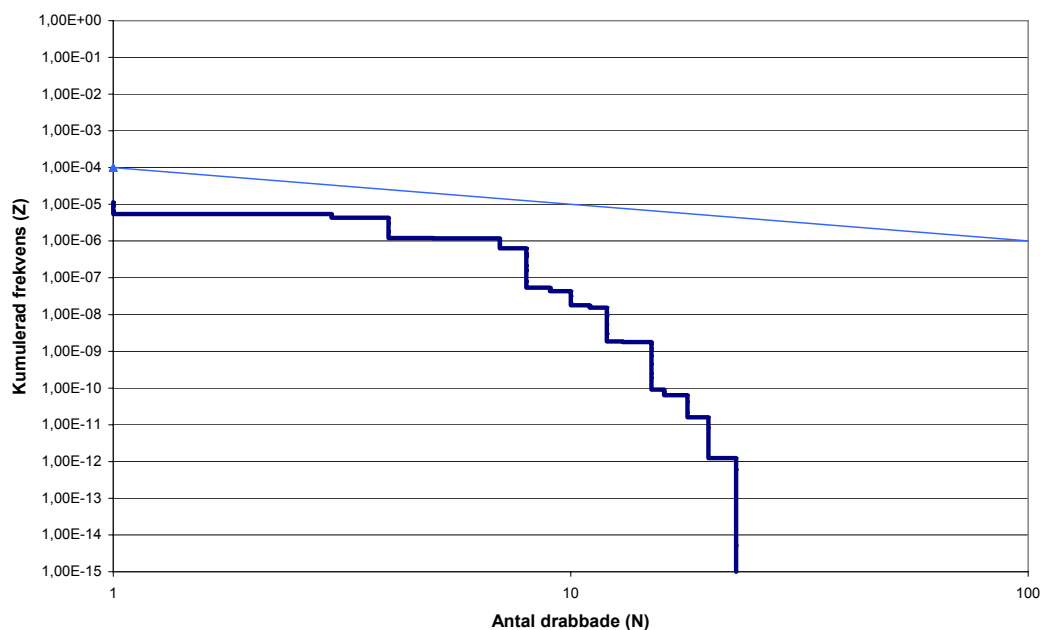
Tabell D-9 För att kunna utföra ett F/N-diagram är scenarierna sorterade efter fallande konsekvens och frekvensen uttrycks kumulativt.

KUMULATIV FREKVENS Z	KONSEKVENNS N
5.1E-15	23
6.0E-13	23
1.2E-12	23
1.3E-12	20
8.3E-12	20
1.6E-11	20
2.1E-11	18
4.2E-11	18
6.3E-11	18
6.3E-11	17
6.4E-11	17
6.4E-11	17
6.4E-11	16
6.4E-11	16
6.7E-11	16
7.7E-11	16
8.0E-11	16
9.0E-11	16
1.8E-10	15
1.9E-10	15
2.5E-10	15
4.4E-10	15
7.6E-10	15
1.0E-09	15
1.2E-09	15
1.5E-09	15
1.8E-09	15
1.8E-09	14
1.8E-09	14
1.8E-09	14
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
1.8E-09	13
3.0E-09	12
3.0E-09	12
3.0E-09	12
5.3E-09	12
9.0E-09	12
9.1E-09	12
1.1E-08	12
1.5E-08	12
1.5E-08	12
1.5E-08	11
1.5E-08	11
1.6E-08	11
1.6E-08	11
1.6E-08	11
1.6E-08	11
1.6E-08	11
1.7E-08	11

1.7E-08	11
1.7E-08	11
1.7E-08	11
1.8E-08	11
2.0E-08	10
3.2E-08	10
4.3E-08	10
4.3E-08	9
4.3E-08	9
4.5E-08	9
4.5E-08	9
4.5E-08	9
4.5E-08	9
4.6E-08	9
5.0E-08	9
5.0E-08	9
5.0E-08	9
5.0E-08	9
5.4E-08	9
5.4E-08	9
5.4E-08	8
5.4E-08	8
5.4E-08	8
7.8E-08	8
7.8E-08	8
7.9E-08	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
1.6E-07	8
2.1E-07	8
2.1E-07	8
2.2E-07	8
3.7E-07	8
3.8E-07	8
3.9E-07	8
4.0E-07	8
4.0E-07	8
4.0E-07	8
4.0E-07	8
4.5E-07	8
4.5E-07	8
4.5E-07	8
6.1E-07	8
6.1E-07	8
6.3E-07	8
6.4E-07	8
6.9E-07	7
7.2E-07	7
8.2E-07	7
9.5E-07	7
1.1E-06	7
1.2E-06	7
1.2E-06	6
1.2E-06	6
1.2E-06	6
1.2E-06	5

1.2E-06	5
1.2E-06	5
1.2E-06	5
1.2E-06	5
1.2E-06	5
1.8E-06	4
1.8E-06	4
1.8E-06	4
3.0E-06	4
3.0E-06	4
3.0E-06	4
4.3E-06	4
4.3E-06	4
4.3E-06	4
4.3E-06	4
4.3E-06	3
4.3E-06	3
4.3E-06	3
4.3E-06	3
4.4E-06	3
4.5E-06	3
4.7E-06	3
4.9E-06	3
5.0E-06	3
5.1E-06	3
5.2E-06	3
5.5E-06	3
5.5E-06	1
6.6E-06	1
6.6E-06	1
6.7E-06	1
6.7E-06	1
8.8E-06	1
8.8E-06	1
8.8E-06	1
9.1E-06	1
9.1E-06	1
1.1E-05	1
1.1E-05	1
1.2E-05	1

De värden som presenteras i tabell D.9 ger upphov till ett F/N-diagram som beskriver risken för hela den höga byggnaden. F/N-diagrammet framställs i figur D.1.



Figur D-1 F/N-diagrammet demonstrerar riskbilden för hela den höga byggnaden, under förutsättningarna att skyddssystemen finns och att brandvarnaren ljuder.

D.4.2 Medelrisk

Medelrisken beräknades tidigare för varje del, våning 1-8, våning 9-16 och våning 17-24. Genom att addera risken för dessa delar erhålls risken för hela byggnaden, vilket presenteras i tabell D.10.

Tabell D-10 Medelrisken (antalet drabbade per år) för de tre olika delarna av byggnaden, samt deras summa som anger risken för hela byggnaden.

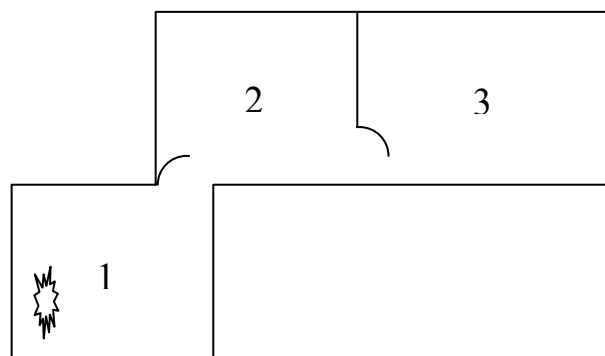
	Σ Medelrisk
Våning 1-8	5.3E-06
Våning 9-16	1.3E-05
Våning 17-24	1.3E-05
<i>Summa:</i>	3.1E-05

E FAST- SIMULERING

FAST är ett rökfyllnadsprogram där brandförloppet i en byggnad kan simuleras. En sådan simulering utförs för att undersöka hur lång tid det tar för att övertändning i ett brandrum ska inträffa. Vid simuleringen studeras även när brandvarnaren utlöser i hallen och hur snabbt det uppstår kritiska förhållanden i slussen. I undersökningen utnyttjas användarmanualen för programmet [36].

E.1 Konfiguration av rummen

Rummen som ingår i simuleringen åskådliggörs i figur E.1. De består av den brandutsatta lägenheten, en hall och en sluss.



Figur E-1 Konfiguration av rummen.

Beskrivning av utrymmena:

1. Brandutsatt lägenhet
2. Hall
3. Sluss

E.2 Mått och öppningar

1. Brandrummet är $3 \times 3 \text{ m}^2$. Höjden är 2.6 m.
Fönsterna antas vara två stycken à $0.8 \times 1.2 \text{ m}^2$ (b x h), vilket ger $1.6 \times 1.2 \text{ m}^2$ (b x h).
Dörren till hallen antas vara $0.8 \times 2 \text{ m}^2$ (b x h) och antas vara öppen under hela simuleringen.
2. Hallen är också $3 \times 3 \text{ m}^2$ med höjden 2.6 m.
Dörren till slussen antas vara $0.8 \times 2 \text{ m}^2$ (b x h) och antas var stängd i början av simuleringen.
3. Slussen är $3 \times 4 \text{ m}^2$.

E.3 Brandens effektutveckling

Brandens maximala effekt räknas ut med följande formel:

$$q_{\max} = 0.3 \cdot H \cdot \sqrt{A} \quad [7, \text{ekvation 4.4}]$$

H= Höjden på brandrummet, 2.6 m
A= Arean på brandrummet, ca 10 m²

$$\Rightarrow q_{\max} = 0.3 \cdot 2.6 \cdot \sqrt{10} \approx 2.5 \text{ MW}$$

För att räkna ut tiden det tar till den maximala effekten används formeln:

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad [28, \text{ekvation 3.7}] \Rightarrow t = \sqrt{Q/\alpha}$$

Q= Effekt
 α = Tillväxtfaktorn
t= Tid

Tiden bestäms utifrån två olika värden för tillväxtfaktorn, för att se hur känsligheten för variabeln är.

Tillväxtfaktor – medium: Antas då det gäller en bostad [28, tab 3.7].

$$\alpha = 0.012 \quad [28, \text{tab 3.5}]$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{2500/0.012} \approx 460 \text{ s}$$

Tillväxtfaktorn – fast: Simuleringen görs även utifrån tillväxtfaktorn fast.

$$\alpha = 0.047 \quad [28, \text{tab 3.5}]$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{2500/0.047} \approx 230 \text{ s}$$

E.4 Fönster och dörrar öppnas under simuleringen

Fönsterna antas gå sönder då temperaturen i rummet överstiger ca 350°C. Under simuleringens gång, vid stängda fönster, uppnås det värdet på temperaturen vid en viss tid och då utförs simuleringen igen för att vid den tiden öppna fönsterna. Dörren till slussen öppnas då personer utrymmer från lägenheten (och kan förbli öppen om dörrstängaren inte fungerar). Det antas ske ca 40 s efter detektion av brandvarnaren som är placerad i hallen. Vid den tiden har det inte uppstått kritiska förhållanden i slussen. Tiderna blir olika beroende på vilken tillväxtfaktor som används - fast eller medium.

Tillväxtfaktor - medium: Tiden då *fönster* öppnar blir 200 s (det visade sig att det inte spelar någon roll för resultatet om hela arean på fönstret öppnar samtidigt eller om fönstret öppnas till full area under en stund). Det tar 100 s innan de boende antas utrymma ur lägenheten och *dörren* kan sedan förbli öppen mot slussen.

Tillväxtfaktor - fast: Tiden då *fönster* öppnar blir istället 150 s. Det tar 80 s innan de boende antas utrymma ur lägenheten och *dörren* kan sedan förbli öppen mot slussen.

E.5 Resultat

Resultaten presenteras för både medium- och fastbranden och sammanförs i tabell E.1. De parametrar som visas är:

- ✦ Tiden till detektion i hallen
- ✦ Tiden till kritiska förhållanden (K F) i slussen *
- ✦ Tid till övertändning i brandrummet, vilket antas ske vid ca 500°C

* Kritiska förhållanden ges m a p rökgaslagerhöjden ($1.6 + 0.1 \cdot H \Rightarrow 1.6 + 0.1 \cdot 2.6 = 1.9$ m), temperaturen (80°C) och siktbarheten (1 obscura) [7, kap 4.2.3], [47]. Värmestrålningen undersöks inte, eftersom slussen som studeras är flera rum från branden.

Tabell E-1 Tiden till detektion, kritiska förhållanden (KF) och övertändning studeras för en brand med medium- och fasttillväxt. Kursiv text anges för de parametrar som först ger kritiska förhållanden i slussen.

TILLVÄXT	DETEKTION (s)	K F -höjd (s)	K F -optisk dens (s)	K F -temperatur (s)	ÖVER- TÄNDNING (s)
Medium	60	<i>110</i>	120	240	460
Fast	40	<i>90</i>	<i>90</i>	120	250

Resultatet ger att tiden till övertändning är drygt 7 minuter (medium) och drygt 4 minuter (fast) och det anses därmed vara rimligt att anta ca 5 minuter.

Det blir relativt snabbt kritiskt i slussen. Parametern som styr det är höjden för rökgaslagret och det sker mellan 1.5-2 minuter. Därefter försvåras utrymningen, men det går fortfarande att ta sig igenom slussen, eftersom det är nästan 2 m fri höjd och personerna som utrymmer kan förväntas känna igen sig väl.