

Jämförande analys av säkerhetsnivå mellan förenklad och analytisk dimensionering enligt Boverkets byggregler 2012

Sebastian Thuns & Joel Wibelius

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

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5393, Lund 2012

**Jämförande analys av säkerhetsnivå mellan förenklad
och analytisk dimensionering enligt Boverkets
byggregler 2012**

Sebastian Thuns & Joel Wibelius

Lund 2012

Titel

Jämförande analys av säkerhetsnivå mellan förenklad och analytisk dimensionering enligt Boverkets byggregler 2012

Title

Comparative analysis of safety level between design by pre-accepted solutions and fire safety engineering methods according to the Swedish building code of 2012.

Författare / Authors

Sebastian Thuns & Joel Wibelius

Report 5393

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5393--SE

Number of pages: 165

Illustrations: Sebastian Thuns & Joel Wibelius

Keywords:

Swedish National Board of Housing Building and Planning, BBR 19, BBRAD, safety level, comparative analysis, pre-accepted solutions, fire safety engineering methods, risk, event tree, F/N-curves, FDS, Simulex, INSTA 950.

Sökord:

Boverket, BBR 19, BBRAD, säkerhetsnivå, jämförande analys, förenklad dimensionering, analytisk dimensionering, risk, händelsetråd, F/N-kurvor, FDS, Simulex, INSTA 950.

Abstract:

The aim of this master thesis is to use a risk analysis model to compare the resulting safety level in connection to evacuation of a certain type of building for two types of authority-approved design methods. The purpose of this is to identify if any differences in safety level between the two methods can be identified. This is of interest since the Swedish National Board of Housing, Building and Planning recently introduced more regulated guidelines for fire safety engineering methods, BBRAD. The results of the analysis indicates that BBRAD fulfills its purpose by in this case giving a safety level that is higher than the reference level given by pre-accepted solutions which is accepted by society. The results may also be of interest for other countries who are interested in introducing more regulated fire safety engineering methods. In the Nordic standardization cooperation, INSTA 950, there are such preconditions and thus the results of this report can serve as a source of inspiration in this context.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2012.

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Sammanfattning

I samband med att en ny version av Boverkets byggregler, BBR 19, utkom vid årsskiftet 2011/2012 genomfördes förändringar i avsnittet om brandskydd. En principiell ändring i reglerna är att all brandteknisk dimensionering tydligare delas upp i förenklad respektive analytisk dimensionering.

Sedan årsskiftet 2011/2012 finns förutom BBR 19 också numera skriften Boverkets allmänna råd (BFS 2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1. I dessa allmänna råd finns det bland annat rekommendationer kring lämpliga verifieringsmetoder, brandscenarier och dimensioneringskriterier. Tanken är att detta ska utgöra ett steg i en riktning mot en mer reglerad analytisk dimensionering.

Syftet med BBRAD är alltså att den mer reglerade analytiska dimensioneringen ska säkerställa att samhällets krav på säkerhet uppfylls och eliminera den delen av spridningen av säkerhetsnivå som är på fel sida av gränsen.

Denna rapport syftar till att jämföra resulterande säkerhetsnivå i samband med utrymning för en viss typ av lokal med två olika, av Boverket godkända, typer av dimensioneringsmetoder. Detta för att studera om någon väsentlig skillnad i säkerhetsnivå kan identifieras. När Boverket nu i och med införandet av mer detaljerade riktlinjer rörande analytisk dimensionering tar större ansvar för denna än tidigare är det intressant att utreda vilken säkerhetsnivå som erhålls med de olika metoderna. Genom att utföra en jämförelse för ett givet scenario utreds det om Boverket är konsekventa, eller om det i och med de nya riktlinjerna finns en risk för att den säkerhetsnivå i BBR, som i dagsläget är accepterad av samhället, frångås.

Den jämförande analysen visar att det går att identifiera skillnader i säkerhetsnivå mellan de två dimensioneringsmetoderna. Detta görs genom att på ett strukturerat och väl underbyggt sätt ta hänsyn till sannolikheter och konsekvenser för olika utfall i de olika utförandena genom händelseträdmotodik.

Analysen indikerar också att BBRAD uppfyller sitt syfte genom att i det aktuella fallet ges en säkerhetsnivå som är högre än den av samhället redan accepterade referensnivån i förenklad dimensionering. Det är dessutom högst sannolikt att den tidigare spridningen av säkerhetsnivån i samband med analytisk dimensionering kommer att minska i och med införandet och användandet av BBRAD.

Rapportens resultat kan komma att bli intressanta för andra länder vars regelverk ser liknande ut sett till uppbyggnad och innehåll, och som är intresserade av att öppna en dörr mot en mer reglerad analytisk dimensionering. I det nordiska standardiseringssamarbetet, INSTA 950, finns det sådana förutsättningar och rapportens resultat kan således fungera som inspirationskälla i sammanhanget.

Summary

In connection with a new version of the Swedish building code, BBR 19, published by the Swedish National Board of Housing, Building and Planning (Boverket) at the turn of 2011/2012, changes were made in the section of fire protection compared to previous editions. A fundamental change in the rules is that all fire safety design is now more clearly divided into either pre-accepted solutions or fire safety engineering methods.

Since the beginning of 2012 exists in addition to BBR 19 also new guidelines (BFS 2011:27) for fire safety engineering methods of fire protection in buildings, BBRAD 1. These general guidelines contains for example particular recommendations on appropriate verification methods, fire scenarios and design criteria. The purpose is that this will be a step towards a more regulated fire safety engineering methods.

The purpose of BBRAD is that the more regulated fire safety engineering methods must ensure that the society's demand of safety are met and eliminate the part of the safety level spread that is unacceptable.

The aim of this report is to use a risk analysis model to compare the resulting safety level in connection to evacuation of a certain type of building for two types of authority-approved design methods. The purpose of this is to identify if any differences in safety level between the two methods can be identified. The introduction of the new guidelines means that Boverket takes more responsibility of fire safety engineering methods than before. Therefore, it is interesting to investigate what level of safety that is obtained by the different methods. The regulation regarding pre-accepted solutions marks a level of safety that is accepted by the society. By performing a comparison of a given scenario, the consistency regarding safety level in the guidelines is investigated.

The comparative analysis shows that it is possible to identify differences in safety level between the two design methods. This is shown through a systematic approach, taking into account the probabilities and consequences of different outcomes in the various design methods, using event tree methodology.

The analysis also indicates that BBRAD fulfills its purpose by in this case giving a safety level that is higher than the reference level given by pre-accepted solutions which is accepted by the society. It is also highly probable that the earlier spread of safety level in connection with fire safety engineering methods will be reduced with the introduction and use of BBRAD.

The results in this report may be of interest for other countries (whose regulations are similar looking in terms of structure and content) who are interested in introducing more regulated fire safety engineering methods. In the Nordic standardization cooperation, INSTA 950, there are such preconditions and thus the results of this report can serve as a source of inspiration in this context.

Förord

Författarna till denna rapport vill rikta ett stort tack till de personer som varit till hjälp och stöd under arbetets gång och möjliggjort rapportens färdigställande.

Michael Strömgren

SP Brandteknik, Lund:

För utmärkt handledning, stort engagemang och värdefulla kommentarer samt intressanta diskussioner och tillhandahållande av kontorsplats.

Johan Norén

BRIAB, Brand & Riskingenjörerna AB, Stockholm:

För stort engagemang i allmänhet och ypperlig vägledning genom den snåriga FDS-djungeln i synnerhet.

Maria Hjohlman

SP Brandteknik, Borås:

För goda tips och råd kring sprinkler- och FDS-frågor.

Slutligen vill författarna till denna rapport tacka nära och kära för förståelse och support i både med- och motvind.

Lund, 2012-11-27



Sebastian Thuns



Joel Wibelius

Innehållsförteckning

1 Inledning	15
1.1 Bakgrund	15
1.2 Syfte och mål	16
1.3 Frågeställningar	17
1.4 Avgränsningar	17
2 Metod.....	19
2.1 Förhållningssätt	19
2.2 Metodik.....	19
2.3 Verktyg för datainsamling och analys	20
2.3.1 Kartläggning.....	20
2.3.2 Experiment	20
2.4 Forskningsprocessen	21
2.5 Vetenskaplighet.....	21
3 Byggnadstekniskt brandskydd i Sverige.....	23
3.1 Tidig historik.....	23
3.2 De första byggreglerna	24
3.3 Boverkets byggregler	25
3.4 Dagens gällande lagstiftning och byggregler	26
3.4.1 Förenklad dimensionering	27
3.4.2 Analytisk dimensionering.....	28
3.5 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel.....	31
4 Risk.....	33
4.1 Begreppet risk	33
4.1.1 Tekniskt förhållningssätt	33
4.1.2 Socialkonstruktivistiskt förhållningssätt.....	34
4.2 Riskhanteringsprocessen	34
4.2.1 Riskanalys	35
4.2.2 Riskanalysmetoder.....	36
4.2.3 Riskmått.....	39
5 BBR och risk.....	41
5.1 Efterfrågan på tydligare verifieringsriktlinjer	41
5.1.1 Exempel på problematiken	41
5.1.2 BBRAD – ett steg i rätt riktning?	42
5.2 Säkerhetsnivå accepterad av samhället.....	45
5.2.1 Att bestämma en acceptabel säkerhetsnivå	46

5.2.2 Att använda en accepterad säkerhetsnivå som jämförelsegrund	48
5.3 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel.....	49
6 Teoretisk bakgrund för den jämförande analysen	51
6.1 Analytisk utvärdering av säkerhet	51
6.1.1 Deterministisk riskvärdering.....	51
6.1.2 Probabilistisk riskvärdering.....	52
6.2 Kriterium för säker utrymning	52
6.3 Att jämföra risker	54
6.4 Modell för jämförelse i denna rapport.....	55
7 Förutsättningar och indata för den jämförande analysen	57
7.1 Förutsättningar	57
7.1.1 Lokal.....	57
7.1.2 Utformning enligt förenklad dimensionering.....	59
7.1.3 Utformning enligt analytisk dimensionering.....	61
7.2 Indata	63
7.2.1 Brandskyddslösningar	63
7.2.2 Brandscenarier	68
7.2.3 Utrymning.....	71
7.3 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel.....	73
8 Resultat.....	75
8.1 Förenklad dimensionering	75
8.1.1 Aktiveringstid.....	75
8.1.2 Brandscenarier	75
8.1.3 Tid till kritiska förhållanden.....	76
8.1.4 Tid för utrymning.....	79
8.2 Analytisk dimensionering.....	81
8.2.1 Aktiveringstid.....	81
8.2.2 Brandscenarier	82
8.2.3 Tid till kritiska förhållanden.....	83
8.2.4 Tid för utrymning.....	85
9 Analys av resultat	87
9.1 Kritiska punkter	87
9.2 Händelseträdanalys.....	88
9.2.1 Händelseträda med 10 MW-brand som starthändelse.....	88
9.2.2 Händelseträda med 2 MW-brand som starthändelse	90
9.3 F/N-kurvor.....	92

9.3.1 F/N-kurvor 10 MW-brand.....	92
9.3.2 F/N-kurvor 2 MW-brand.....	94
9.4 Känslighetsanalys av takhöjd	95
9.4.1 Resultat och reflektioner.....	96
10 Diskussion.....	97
10.1 Tidigare diskussionsavsnitt.....	97
10.2 Säkerhetsnivå och riskmått	97
10.3 Takhöjdens inverkan.....	98
10.4 Sprinkler – teori och verklighet	99
10.5 Återkoppling till problematiken med otillräcklig verifiering.....	101
10.6 Generellt kring antaganden och angreppssätt	101
10.7 Datorprogram	102
10.8 Nordisk jämförelse av förenklad dimensionering	102
11 Slutsats	105
Litteraturlista.....	107
Bilaga A – Använda datorprogram.....	111
Bilaga B – Indata till datorprogram.....	119
Bilaga C – Tidskriteriet bakom den analytiskt dimensionerade lokalen.....	121
Bilaga D – Resultat från gjorda simuleringar.....	123
Bilaga E – Resultat känslighetsanalys.....	145
Bilaga F – Scriptfil FDS.....	149
Bilaga G – Nordisk jämförelse av förenklad dimensionering.....	163

1 Inledning

Denna rapport är en del av ett examensarbete som utgör det avslutande momentet på Lunds Tekniska Högskolas civilingenjörsutbildning med inriktning riskhantering. I detta inledande kapitel ges en bakgrundsbeskrivning till examensarbetet samt en beskrivning av rapportens syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

I samband med att en ny version av Boverkets byggregler, BBR 19, utkom vid årsskiftet 2011/2012 genomfördes förändringar i avsnittet om brandskydd jämfört med tidigare upplagor. En principiell ändring i reglerna är att all brandteknisk dimensionering tydligare delas upp i förenklad respektive analytisk dimensionering. Med förenklad dimensionering avses de lösningar som Boverket föreslår i allmänna råd i BBR (Boverket 2, 2011). Här följs råden till punkt och pricka och det ges mycket begränsat utrymme till egna tolkningar av det som föreskrivs.

Om förenklad dimensionering inte följs, det vill säga om det görs avvikelser från denna, måste analytisk dimensionering tillämpas. Detta är i de flesta fall valfritt för byggherren och medför att man då exempelvis kan få ett brandskydd som är bättre anpassat till den verksamhet som ska bedrivas eller byggnadens utformning. Krav på analytisk dimensionering finns alltid om byggnaden kategoriseras in i Byggnadsklass Br0, det vill säga byggnader med mycket stort skyddsbehov (Boverket 2, 2011). Hit hör främst byggnader som är komplexa av en eller annan anledning och där det kan förväntas vistas ett stort antal personer.

Vid analytisk dimensionering ställs det krav på att brandskyddet ska verifieras på något av de sätt som anges i BBR (Boverket 2, 2011). Detta för att säkerställa att brandskyddet uppfyller samhällets krav på säkerhet. De olika verifieringsmetoder som anges är tillämpliga för olika grad av avvikelser från förenklad dimensionering och väljs i samband med identifieringen av verifieringsbehov.

Tidigare har det varit mer eller mindre oreglerat och upp till den enskilde brandskyddskonsulten att avgöra hur denna analytiska dimensionering ska utföras. Denna avsaknad av reglering har medfört att en stor mängd parametrar kan tilldelas olika värden, med följden att det finns risk för en stor spridning av den resulterande säkerhetsnivån med den analytiska dimensioneringen beroende på vem som utfört den. På samma sätt har det saknats detaljerade riktlinjer rörande verifiering och kontroll av utförandet, vilket ytterligare bidragit till spridningen av säkerhetsnivån (Lundin, 2005).

Sedan årsskiftet 2011/2012 finns förutom BBR 19 också numera skriften Boverkets allmänna råd (BFS 2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1. I dessa allmänna råd finns det bland annat rekommendationer kring lämpliga verifieringsmetoder, brandscenarier och dimensioneringskriterier (Boverket 3, 2011). Tanken är att detta ska utgöra ett steg i en riktning mot en mer reglerad analytisk dimensionering.

Möjligheterna till utrymning utgör en central del av arbetet med byggnadstekniskt brandskydd. När det kommer till utrymningsmöjligheter vid brand anges som analysmodell i BBRAD:

”Möjlighet till utrymning vid brand bör utgå från en jämförelse mellan tiden för utrymning och tiden till dess att kritisk påverkan uppstår.”

I detta avsnitt ges sedan detaljerade allmänna råd kring erfordrade brandscenarier med värden på parametrar som exempelvis maxeffekt, tillväxthastighet och sotproduktion. På samma sätt ges värden på utrymningsrelaterade parametrar som exempelvis persontäthet, varseblivnings- och förberedelsetid samt gånghastighet beroende på olika typer av lokaler och verksamheter (Boverket 3, 2011). Denna typ av rekommenderade värden för nämnda parametrar är ett helt nytt koncept och är tänkt att ge en mindre grad av spridning av hur utrymningssäkerheten bestäms vid analytisk dimensionering. Syftet med BBRAD är alltså att den mer reglerade analytiska dimensioneringen ska säkerställa att samhällets krav på säkerhet uppfylls och eliminera den delen av spridningen som är på fel sida av gränsen.

Ett vanligt sätt att verifiera utrymningssäkerheten i en analytiskt dimensionerad byggnad har länge varit att jämföra den resulterande säkerhetsnivån med motsvarande nivå för en så kallad referensbyggnad. Med detta avses en motsvarande byggnad som är förenklad dimensionerad enligt de allmänna råden i BBR. Genom att jämföra dessa byggnaders säkerhetsnivå erhålls en relativ säkerhetsnivå på den analytiskt dimensionerade byggnaden jämfört med den enligt råden i byggreglerna dimensionerade referensbyggnaden. Visar det sig att den analytiskt dimensionerade byggnaden innebär en säkerhetsnivå som är lika hög eller högre än motsvarande nivå för referensbyggnaden, anses en acceptabel säkerhetsnivå ha uppnåtts.

Denna verifieringsmetod behöver dock inte användas om de allmänna råden i BBRAD följs, då det under ”Tillfredsställande brandsäkerhet” står att läsa:

*”Brandskyddet kan verifieras genom en jämförelse med det skydd som ges av förenklad dimensionering för en referensbyggnad. **Som alternativ kan brandskyddet verifieras mot de kriterier som anges i dessa allmänna råd.**”*

Genom att följa de allmänna råden i BBRAD behöver det alltså enligt ovanstående citat inte göras någon jämförelse med en referensbyggnad, utan verifieringen kan göras enligt någon av de beskrivna metoderna (Boverket 3, 2011). Det vore dock intressant ur flera synvinklar att göra just en sådan jämförelse, för att studera hur två byggnader, projekterade med var och en av dessa två godkända metoder, förhåller sig till varandra sett till säkerhetsnivå i samband med utrymning.

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna rapport är att jämföra resulterande säkerhetsnivå i samband med utrymning för en viss typ av lokal med två olika, av Boverket godkända, typer av dimensioneringsmetoder (förenklad och analytisk dimensionering enligt BBR 19 och BBRAD). Detta för att studera om någon väsentlig skillnad i sådan nivå kan identifieras. När Boverket nu i och med införandet av mer detaljerade riktlinjer rörande analytisk dimensionering tar större ansvar för denna än tidigare är det intressant att utreda vilken säkerhetsnivå som erhålls med de olika metoderna. Genom att utföra en jämförelse för ett givet scenario utreds det om Boverket är konsekventa, eller om det i

och med de nya riktlinjerna finns en risk för att den säkerhetsnivå i BBR, som i dagsläget är accepterad av samhället, frångås.

Målet med rapporten är att ta fram ett förslag till en modell som kan användas för att utföra en sådan jämförelse.

1.3 Frågeställningar

De två primära frågeställningar, med tillhörande sekundära frågeställningar, som rapporten utgår ifrån är:

- Går det att, genom en jämförande analys, identifiera någon skillnad i säkerhetsnivå i samband med utrymning för två lokaler, projekterade enligt förenklad respektive analytisk dimensionering?
 - Vilken eller vilka riskanalysmetoder och riskmått är lämpliga för en sådan jämförelse?
- Kan det, utifrån rapportens resultat, ges någon indikation på om införandet av BBR 19 och BBRAD fyller sitt syfte, det vill säga en mindre spridning av säkerhetsnivå i analytisk dimensionering som samtidigt innebär att samhällets krav på säkerhet uppfylls?
 - Kan det identifieras svagheter och förslag på förbättringar i BBR 19 och BBRAD?
 - Kan det utifrån denna rapports resultat göras lärdomar som kan vara intressanta i ett större perspektiv, i detta fall en harmoniserad specifikation av analytisk dimensionering enligt det internordiska samarbetet INSTA 950?

1.4 Avgränsningar

Rapporten avgränsas till att genomföra en jämförelse i säkerhetsnivå för en samlingslokal i verksamhetsklass 2B, det vill säga en publik lokal där det kan förväntas finnas mer än 150 personer (Boverket 2, 2011). Exempel på sådana lokaler är köpcenter, teaterlokaler och biografier. I denna rapport används en varuhuslokal hämtad från verkligheten som utgångspunkt för jämförelsen.

Rapporten avgränsas till att behandla säkerhetsrisker i form av möjligheterna till säker utrymning för personerna i en sådan lokal. Ingen hänsyn tas till hälso- eller miljörisker. Några ekonomiska aspekter tas heller inte i beaktning. Vidare beaktas inte byggnadens bärförmåga, räddningsmanskaps säkerhet eller risk för nedfallande föremål.

2 Metod

I detta kapitel presenteras teori kring metod för ett examensarbete i generella termer med kopplingar till vad som används i denna rapport.

2.1 Förhållningssätt

Backman (2008) skriver om två huvudsakliga förhållningssätt i samband med författandet av rapporter och uppsatser. Dessa förhållningssätt går under namnen:

- Traditionellt perspektiv.
- Kvalitativt perspektiv.

Ur det traditionella, naturvetenskapliga perspektivet är individen sedd som en betraktare av en objektiv omvärld, där denna omvärld observeras, registreras och mäts. Med kvalitativt förhållningssätt förskjuts intresset mot att studera hur människan uppfattar och tolkar den omgivande verkligheten, och omvärldsbilden blir således subjektiv.

I förhållningssättet i denna rapport går det att identifiera inslag från dessa båda perspektiv. Målet är att ta fram en modell där resulterande säkerhetsnivå för två olika dimensioneringsmetoder kan jämföras, och detta görs dels genom mätningar av mer traditionell karaktär och dels genom statistik baserad på bedömningar och värderingar som bättre stämmer in under det kvalitativa perspektivet. Rapportens huvudsakliga förhållningssätt får dock ses som traditionellt, då ambitionen är att betrakta verkligheten som mer eller mindre objektiv.

2.2 Metodik

Metodik är det grundläggande arbetssätt som väljs för ett examensarbete. Den beskriver inte arbetssättets olika delar i detalj utan ska snarare ses som en hjälp på vägen från en övergripande målsättning mot ökad kunskap kring frågan. Vilken metodik som bör väljas beror på vilket syftet är med arbetet (Höst, Regnell, & Runeson, 2006).

De fyra mest relevanta metodikerna för examensarbeten inom tillämpade vetenskapsområden är enligt Höst et al. (2006):

- **Kartläggning:** Sammanställning och beskrivning av nuläget för det studerade objektet eller fenomenet.
- **Fallstudie:** Djupgående studium av ett eller flera fall.
- **Experiment:** Jämförande analys av två eller flera alternativ.
- **Aktionsforskning:** En noggrant övervakad och dokumenterad studie av en aktivitet som syftar till att lösa ett problem.

I denna rapport är syftet att jämföra resulterande säkerhetsnivå med två olika typer av dimensioneringsmetoder, vilket kan ses som en form av experiment enligt definitionen

ovan. Enligt det Backman (2008) skriver rörande kausalitet (orsak-verkan-relationer) uttryckt i experimentella sammanhang kan då dimensioneringssättet sägas vara en oberoende variabel och resulterande säkerhetsnivå en beroende variabel.

Som underlag till experimentet och vid framtagandet av modellen krävs en inläsning på området som utförs genom en omfattande litteraturstudie. Denna del av arbetet kan liknas vid en form av kartläggning enligt definitionen ovan.

Således utgörs metodiken i denna rapport lämpligen av en kombination av de två metodikerna kartläggning och experiment, där kartläggningen främst utgör bakgrunden och rapportens slutsatser kan ses som resultatet av experimentet.

2.3 Verktyg för datainsamling och analys

I detta avsnitt beskrivs de verktyg som används för datainsamling och analys för de olika metodikerna kartläggning och experiment.

2.3.1 Kartläggning

Examensarbetet inleds med en så kallad litteraturstudie. I denna inledande del insamlas, studeras och sammanställs befintlig och relevant litteratur inom området. Höst et al. (2006) poängterar att en väl genomförd litteraturstudie stödjer möjligheten att bygga vidare på befintlig kunskap och minskar risken att missa redan gjorda lärdomar.

Sökningen inleds med ett brett spektra för att efterhand smalna av mot rapportens frågeställningar mer och mer. De olika källornas trovärdighet värderas av författarna till denna rapport och baseras huvudsakligen på vilka personer, myndigheter eller institutioner som författat källan. Den största delen av sökningen sker via Internet. Databasen för publikationer från brandteknik och riskhantering har varit till stor hjälp vid litteratursökningen.

2.3.2 Experiment

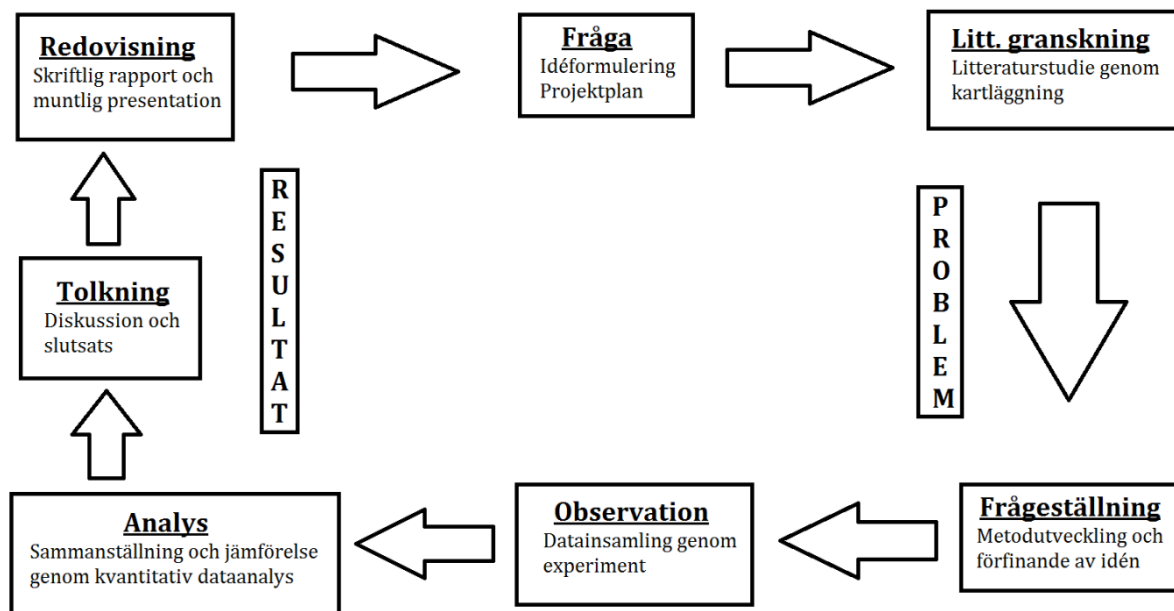
Datainsamlingen till den jämförande analysen sker i denna rapport huvudsakligen genom mätningar och genom att använda tidigare insamlad data. Mätningar utförs genom simuleringar i datorprogram för rökfyllnad och utrymning. Tidigare insamlad data används genom att exempelvis använda statistik över tillförlitlighet hos olika tekniska system för brandskydd.

Precis som Höst et al. (2006) påpekar, måste insamlad data analyseras för att se vad de visar, och detta sker genom någon metod i de två huvudkategorierna kvantitativ och kvalitativ dataanalys.

I denna rapport analyseras utrymnings säkerhet för två dimensioneringssätt genom att beräkna och jämföra tillgänglig och erforderad tid för utrymning för dessa båda sätt. Detta är en form av kvantitativ dataanalys, det vill säga en analys av data som kan representeras i termer av antal och siffervärden. Denna presenteras lämpligen på ett sätt som gör det enkelt för läsaren att tillgodogöra sig resultatet. I denna rapport sker den presentationen genom så kallade F/N-kurvor. Teorin kring och innebörden av sådana kurvor finns beskrivet i *avsnitt 4.2.3.2* och *avsnitt 6.1.2*.

2.4 Forskningsprocessen

Backman (2008) beskriver den så kallade traditionella forskningsprocessen. I figur 2.1 ges en översikt av detta examensarbets olika delar och var de hör hemma i denna forskningsprocess.



Figur 2.1 – Examensarbetets olika delar i den traditionella forskningsprocessen.

2.5 Vetenskaplighet

Vid författandet av denna rapport har det eftersträvats ett visst mått av vetenskaplighet. Detta kännetecknas i rapporten genom:

- **Saklighet:** Rapportens innehåll hålls kortfattat och koncist, där endast sådant som på något sätt bedömts som relevant för rapportens syfte och mål tagits med. Vidare hålls innehållet inom de avgränsningar som anges i *avsnitt 1.4*.
- **Giltighet:** Rapportens faktainnehåll är väl underbyggt genom en omfattande litteraturstudie där fakta från tillförlitliga källor använts. Vidare är de tillvägagångssätt och datorprogram som används väl beprövade inom området. Gjorda antaganden och bedömningar motiveras och osäkerheter redovisas.
- **Objektivitet:** Då inget annat anges genom exempelvis rubriksättning, strävar författarna till denna rapport efter att inte låta innehållet färgas av egna åsikter och subjektiva synpunkter i det som beskrivs. En medveten särskiljning görs genom att tydligt redovisa vad som är refererat och vad som är författarnas egna synpunkter.
- **Disposition:** Rapporten följer den, enligt Backman (2008), traditionella forskningsprocessen med en logisk struktur där det är enkelt för läsaren att identifiera och följa en tydlig röd tråd genom rapportens olika delar.

3 Byggnadstekniskt brandskydd i Sverige

I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av hur det byggnadstekniska brandskyddet i Sverige utvecklats ur ett historiskt perspektiv och hur detta lett fram till dagens rådande lagstiftning och myndighetsföreskrifter inom området.

3.1 Tidig historik

Historien sträcker sig tillbaka till år 1350 då Magnus Erikssons landslag stiftades, där hanteringen av eld utgjorde en del av lagen. Lagens syfte var att den enskilde invånaren i staden hade eget ansvar vid användning av eld och vissa förebyggande åtgärder gällande brandskyddet skulle också vidtas. Det förebyggande och det släckande arbetet var varje invånares ansvar, med straff som påföljd vid brott mot detta för att markera allvaret i lagstiftningen. Brandsyn (tillsyn) hölls fyra gånger om året, detta för att kontrollera så att det förebyggande arbetet verkligen efterlevdes.

Utvecklingen fortsatte i takt med att erfarenheterna om bränders negativa konsekvenser ökade. År 1734 kom en allmän lag där det bland annat stod föreskrivet i byggningsbalken att husägare skulle hålla sin fastighet i bra skick så att uppkomsten av eld försvårades. Olika försäkringsföreningar började också blanda sig i det förebyggande brandskyddsarbetet och ställde krav på att eldstäder, skorstenar och taktäckning skulle uppfylla vissa krav. Vidare skulle försäkringstagarna också ha redskap i hemmen som underlättade släckningen av en eventuell brand. Kraven från föreningarna var ett komplement till den befintliga lagstiftningen (Värmlands Brandhistoriska Klubb, 2004).

Till följd av ett antal stora stadsbränder i början av 1800-talet började hänsyn tas till brandrisken vid stadsuppbyggnad och en ny brandstadga (SFS 1874:26) för rikets städer kom 1874. Breda huvudgator byggdes, tänkta att fungera som avskiljande ytor och på så sätt förhindra att större stadsbränder inträffade. Städerna fick också större torg och obebyggda ytor till följd av den förändrade och nytänkande stadsplaneringen. I brandstadgan stod det också föreskrivet att byggnader inte fick byggas tätt intill varandra om brandmur eller liknande saknades. Brandstadgan från 1874 reviderades i takt med att kunskapen om brand ökade samtidigt som försäkringsbolagens krav på brandskydd ökade.

I de brandstadgor som fanns fram till mitten av 1900-talet framgick det att varje stad hade en skyldighet att upprätthålla ett brandväsen och en brandordning. Brandväsendet omfattades av bland andra brandstyrkan och brandchefen, vilka hade till uppgift att på ett tillfredställande sätt skydda staden mot skada av brand. Brandordningen i staden omfattades av det förebyggande brandskyddsarbetet som skulle förhindra uppkomst och spridning av eld. Brandsyner gjordes årligen för att kontrollera så att det förebyggande arbetet efterlevdes i hela staden. Städernas beredskap mot brand förbättrades i och med föreskrifterna i brandstadgorna.

De brandstadgor som fanns berörde endast hur brandväsendet och brandordningen skulle vara organiserad i varje stad. Det förebyggande arbetet skulle förhindra brands uppkomst och spridning och hur detta skulle gå till beskrevs översiktligt i brandstadgorna. Det fanns endast några få anvisningar om hur brandskyddet skulle beaktas vid nybyggnad och ombyggnad. Som exempel angavs det i brandstadgan från 1944 (SFS 1944:522) § 33 följande:

"I brandordningen må vidare intagas anvisningar om vad som till förebyggande av brands uppkomst och spridning bör iakttagas vid byggande och underhåll av hus med eldstad."

Det var alltså endast byggnader försedda med eldstäder som hade speciella anvisningar gällande brandskyddet vid nybyggnad eller ombyggnad. Fanns det ingen eldstad i byggnaden fanns det alltså inga speciella krav från samhället som berörde det byggnadstekniska brandskyddet.

3.2 De första byggreglerna

Avsaknaden av lagar och förordningar som reglerade nybyggnader och ombyggnader resulterade i en byggnadsstadga som utkom 1947 (SFS 1947:390) i Sverige. Stadgan innehöll lagar om hur byggnadsprocessen formellt skulle gå till samt hur byggnader skulle utformas för att vara så säkra som möjligt ur ett byggnadstekniskt perspektiv. Det stod angivet hur en byggnads yttre och inre anordningar skulle utformas för att på ett tillfredställande sätt hindra och försvåra uppkomsten av brand. Bland annat fanns det reglerat hur brandskyddet skulle utformas i träbyggnader och i flervåningsbyggnader.

För att tolka de lagar och föreskrifter som angavs i byggnadsstadgan fanns det anvisningar att tillgå som gavs ut av byggnadsstyrelsen. Den första anvisningen var Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer 1946:1 (BABS 46) som sedan reviderades i omgångar. Dessa anvisningar beskrev hur byggandet skulle gå till för att lyckas uppfylla de lagar som fanns angivet i byggnadsstadgan. Det fanns också beskrivet vilka material som skulle användas för att uppfylla de brandtekniska kraven som fanns.

Vidare fanns det också beskrivet hur en större byggnad skulle sektioneras med brandsäkra väggar (brandcellsindelning) för att förhindra brandspridning inom byggnaden. Anvisningarna som fanns var preskriptiva, vilket innebar att byggnadens brandskydd var detaljstyrt och skulle utformas på det sätt som stod i anvisningarna. Dessa lagar och rekommendationer innebar att det nu fanns ett krav från samhället på att det byggnadstekniska brandskyddet skulle uppfylla en viss nivå.

För att få enhetliga byggnadsbestämmelser för hela Sverige kom det ut en ny byggnadsstadga 1960 (SFS 1959:612) som innebar att de tidigare lokala byggnadsordningarna slopades. Byggnadsstyrelsen gav i samma period ut anvisningar, BABS 1960, till den nya byggnadsstadgan. Dessa anvisningar innehöll ett tydligt brandskyddskapitel men kraven var fortfarande preskriptiva.

De preskriptiva anvisningarna som fanns för byggandet innebar begränsningar i byggnaders utformning och att möjligheterna till flexibilitet var dåliga. Detta var begränsningar som gjorde det väldigt svårt att bygga större och mer komplexa byggnader. Samhället ville börja frångå de preskriptiva anvisningarna och därför ersatte år 1968 Svensk Bygg Norm (SBN 1967) den äldre BABS 1960. Syftet med detta var att föreskrifterna nu skulle sträva efter att vara mer funktionsbaserade än tidigare samt att bestämmelserna för husbyggande skulle vara samordnade. Brandskyddet fick stort utrymme i SBN 1967 men var fortfarande detaljstyrt. Det fanns dock möjligheter att göra avsteg från föreskrifterna.

Flera tillägg och ändringar till SBN 1967 gavs ut under åren och ytterligare några år senare ersattes även SBN 1967 av den nyare SBN 1980.

Plan- och bygglagen, PBL (1987:10), trädde i kraft 1987 och ersatte den äldre byggnadslagen och byggnadsstadgan. Samtidigt trädde plan- och byggförordningen, PBF (1987:383), i kraft. I samma veva gavs också Boverkets nybyggnadsregler, BFS 1988:18, ut. Dessa ersatte de tidigare byggnormerna, SBN, och innehöll föreskrifter och allmänna råd till de nya reglerna som angavs i PBL och PBF. Brandskyddsdelen i de nya föreskrifterna var mer komprimerad än den varit tidigare, men de fungerade fortfarande som detaljkrav. Dock förklarades vissa av kraven på ett mer funktionsbaserat sätt än tidigare. Förändringarna som gjordes berodde bland annat på att det nu fanns mer erfarenhet och kunskap än tidigare inom brandskyddsområdet.

3.3 Boverkets byggregler

Den stora förändringen kom 1994 då Boverkets byggregler, BBR 1 (BFS 1993:57), ersatte de tidigare nybyggnadsreglerna och fungerade nu som den tolkande texten till PBL och PBF. Här stiftades också Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m., BVL, med tillförande förordning (1994:1215), BVF, som innehöll bestämmelser rörande bland annat byggprodukter och tillsyn.

Föreskrifterna och de allmänna råden gällande dimensioneringen av brandskyddet angavs i kapitel 5 i BBR. Dessa regler blev nu funktionsbaserade istället för preskriptiva som tidigare och det innebar att en viss funktion skulle uppnås men att detta kunde göras på olika sätt. De nya kraven innebar att projektören fick större frihet och kunde anpassa brandskyddets lösning efter den specifika byggnaden. Kunskapskravet hos projektören ökade således med de nya byggreglerna.

De nya byggreglerna, BBR 1, innebar stora förändringar i brandskyddsdimensioneringen. Förändringarna var efterfrågade av många som hade erfarenheter och den senaste kunskapen inom området. Det ansågs att vetenskapen i form av beräkningar, experiment och tidigare erfarenheter skulle få större vikt vid brandskyddsdimensioneringen och brandskyddet inte bara skulle utgöras av specifika standardlösningar (Boverket, 1994).

Fördelarna med de nya funktionsbaserade lösningarna var att dessa gjorde det möjligt till större variationer i byggnaders utformning och utseende än tidigare. Lösningar i konstruktionen kunde anpassas till specifika behov samtidigt som nya byggnadstekniska lösningar blev möjliga. Detta resulterade i att nya tekniker och material kunde användas i byggnadsprocessen. De nya reglerna hade också till syfte att sänka kostnaderna för byggandet eftersom nya, mer anpassade, lösningar nu blev möjliga (Lundin, 2005).

Med införandet av BBR 1994 blev det nu möjligt för projektören att välja mellan två olika huvudmetoder för att dimensionera brandskyddet i en byggnad. Dessa två metoder, som i stora drag levt kvar genom åren och fortfarande är aktuella, är förenklad dimensionering och analytisk dimensionering.

Oavsett val av ovanstående metod måste byggnadens brandskydd uppfylla de minimikrav som är accepterade av samhället (Lundin & Olsson, 2000). Kraven i BBR är inriktade på personsäkerheten i byggnaden, men tillgodoser också de krav på skälig brandskyddsnivå på egendom som finns enligt PBL (Bengtson, Frantzych, Jönsson &

Marberg, 2012). Dessa brandskyddskrav ska alltså uppfyllas med hjälp av dimensioneringsmetoderna som anges BBR.

2011 trädde en ny plan- och bygglag (2010:900), och en ny plan- och byggförordning (2011:338), i kraft. Den äldre plan- och bygglagen med tillhörande förordning ersattes, och de tidigare BVL och BVF bakades in. I och med detta utgavs också en ny grundförfattning från Boverket, BBR 18 (BFS 2011:6). Fram till detta hade således totalt 16 ändringsförfattningar till BBR 1 från 1994 getts ut.

3.4 Dagens gällande lagstiftning och byggregler

Ovan nämnda plan- och bygglag är den grundläggande lag som idag behandlar byggande och byggnadstekniskt brandskydd i Sverige.

I PBL och PBF anges alla de grundläggande krav som finns på alla byggnader vid nybyggnad, ombyggnad eller annan ändring och dessa ska följas. Syftet med PBL är bland annat att gynna en samhällsutveckling som innebär goda levnadsförhållanden.

I PBL finns det angivet att brandsäkerhet ska vara en del av en byggnad och i PBF förtydligas dessa krav. I 8 kap 4 §, PBL, anges följande:

"4 § Ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om

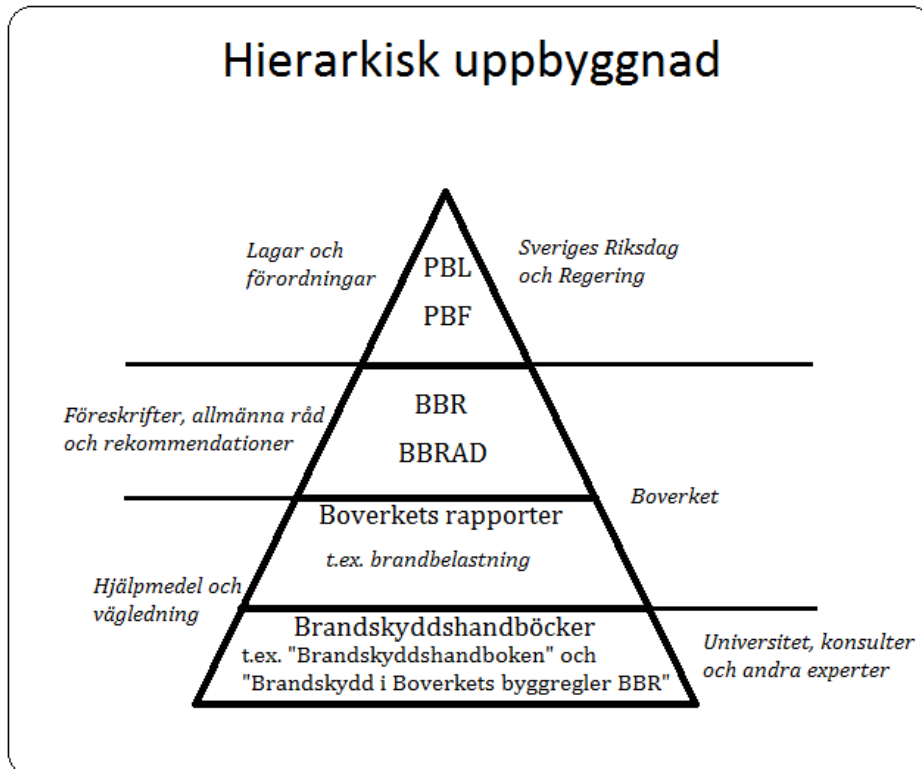
- 1. bärförmåga, stadga och beständighet,*
- 2. säkerhet i händelse av brand, ..."*

Det ställs alltså krav från samhället att ett byggnadsverk måste ha de egenskaperna som krävs för att vara säkert i händelse av brand. Vad detta innebär och på vilket sätt ett byggnadsverk ska vara projekterat för att uppfylla dessa krav står tydligare angivet i 3 kap 8 § PBF (2011:338) som egenskapskrav avseende säkerhet i händelse av brand:

"8 § För att uppfylla det krav på säkerhet i händelse av brand som anges i 8 kap. 4 § första stycket 2 plan- och bygglagen (2010:900) ska ett byggnadsverk vara projekterat och utfört på ett sätt som innebär att

- 1. byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas 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 kan lämna det eller räddas på annat sätt, och*
- 5. hänsyn har tagits till räddningsmanskapets säkerhet vid brand."*

Vid årsskiftet 2011/2012 kom så den första ändringsförfattningen, BBR 19 (BFS 2011:26), av den nya grundförfattningen som är den författning som gäller idag. Dagens rådande hierarkiska uppbyggnad av byggnadsregleringen visas i *figur 3.1*.



Figur 3.1 – Byggnadsregleringens hierarkiska uppbyggnad.

3.4.1 Förenklad dimensionering

Den förenklade dimensioneringen bygger på den preskripta metoden som har sitt ursprung i de tidigare byggnormerna och som på ett traditionellt sätt är accepterade av samhället att dimensionera efter. I BBR 19, avsnitt 5:111 står följande angivet för den förenklade dimensioneringen:

”Förenklad dimensionering innebär att byggherren uppfyller föreskrifterna genom de lösningar och metoder som anges i de allmänna råden...”

Principen i BBR 19 är att funktionsbaserade föreskrifter anges med tillhörande allmänna råd som ger ett detaljerat lösningsförslag. Exempelvis kan detta se ut som i avsnitt 5:245 rörande utrymning:

”Trapphus Tr1 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand-och brandgasspridning till trapphuset begränsas. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Avskiljande konstruktion bör utformas i lägst brandtekniska klass EI 60.

Trapphuset bör endast ha förbindelse med andra utrymmen genom en brandsluss som är öppen mot det fria.”

Föreskrifterna beskrivs ofta i generella ordalag med ord så som ”begränsas” eller ”tillfredsställande”. Vid förenklad dimensionering ska alltså projektören följa de allmänna råden som anges i BBR 19, vilket innebär att brandskyddet utformas med de standardiserade lösningarna som anges.

Det finns dock möjligheter att göra avsteg från de allmänna råden och ändå hamna inom ramen för den förenklade dimensioneringen. Ett exempel på detta är när ett automatiskt släcksystem installeras. Rörande detta står det att läsa följande i BBR 19, avsnitt 5:111:

”Om ett automatiskt släcksystem ska tillgodose kraven i fler än två föreskrifter ska analytisk dimensionering tillämpas.”

Detta innebär alltså att om det görs avsteg från den förenklade dimensioneringen och ett automatiskt släcksystem är tänkt att upprätthålla brandskyddet, så får detta så kallade tekniska byte inte ske i fler än två avseenden. Exempel på sådana avsteg kan utgöras av längre gångavstånd till utrymningsväg och lägre brandtekniska krav på ytskikt, fönster eller fasadbeklädnader.

Det är viktigt att poängtera att det är byggherren som bär det yttersta ansvaret för kontroll av att projektören följer de regler och krav som finns.

Fördelen med den förenklade dimensioneringen är att den följer detaljerade anvisningar om hur brandskyddet ska utformas vilket ofta innebär en enkel och tidseffektiv dimensionering. Brandskyddet uppfyller också den nivå på säkerhet som samhället, enligt tradition, accepterar och ingen utförligare verifiering krävs när de allmänna råden följs. Nackdelarna med den förenklade dimensioneringen är, som nämnts ovan, att metoden är väldigt begränsande och svår att applicera på större byggnader med specifika utformningskrav. I vissa fall kan också den förenklade dimensioneringen resultera i ett onödigt dyrt brandskydd (Frantzich & Lundin, 2000; Lundin & Olsson, 2000).

3.4.2 Analytisk dimensionering

När projektören gör avvikelser från den förenklade dimensioneringen krävs det att utformningen sker analytiskt med beräkningar. Att avvikelser görs från den förenklade dimensioneringen kan bland annat bero på följande (Frantzich & Lundin, 2000):

- Byggnadens utformning/verksamhet kräver ett specifikt brandskydd.
- Brandskyddet behöver optimeras ekonomiskt.
- De förenklade metoderna är inte tillräckliga.

Ofta görs sådana avvikelser genom ett tekniskt byte, där en förändring av brandskyddet sker genom att en eller flera skyddsåtgärder byts ut (Lundin, 2001). Innan BBR 19 gavs ut fanns det inga allmänna råd i BBR om hur den analytiska dimensioneringen skulle utföras. I BBR 18 avsnitt 5:13 om analytisk dimensionering stod följande angivet:

”Analytisk dimensionering och vid behov tillhörande riskanalys ska verifiera brand- och utrymningssäkerheten i byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskador. Analytisk dimensionering kan vara beräkning, provning, objektsspecifika försök eller kombinationer av dessa...”

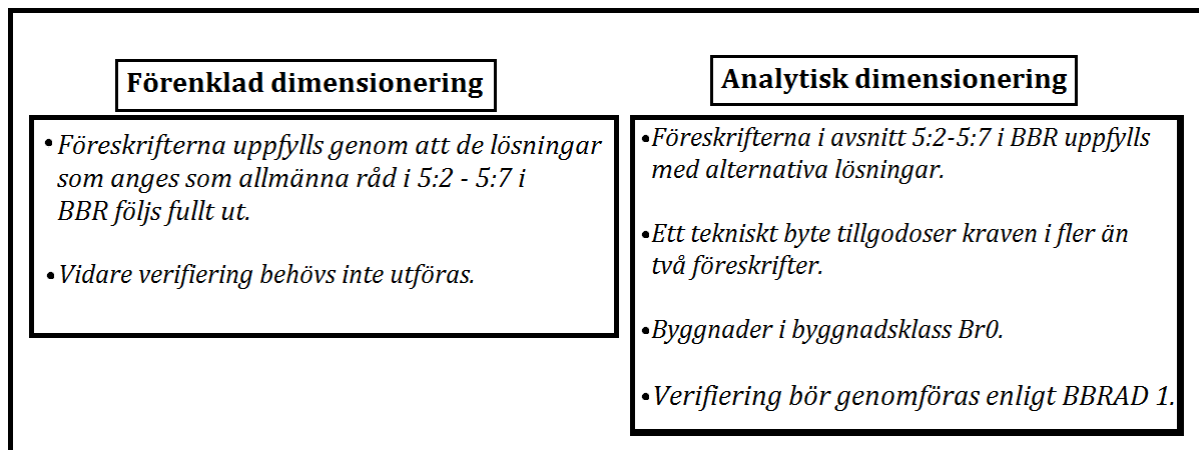
Den analytiska dimensioneringen, enligt BBR 18, ställde alltså högre kunskapskrav på projektören, jämfört med förenklad dimensionering, eftersom metoden bygger på

beräkningar som medför osäkerheter. Beräkningsmetoderna som används anpassas efter det specifika problemet och kan således variera. Enligt BBR 18 fanns det inget bestämt tillvägagångssätt för hur den analytiska dimensioneringen skulle utföras, utan det var upp till projektören att välja lösningsmetod. Osäkerheterna i beräkningarna var projektören tvungen att känna till och beakta vid dimensioneringen (Boverket 1, 2011).

Det är byggherrens ansvar att kontrollera att det projekterade brandskyddet uppfyller minst samma nivå som den förenklade dimensioneringen hade gjort. För att kontrollera att samhällets krav på säkerhet uppfylls krävs det att brandskydd som är analytiskt dimensionerat verifieras på något sätt. Verifieringen av brandskyddslösningen kunde, enligt BBR 18 avsnitt 5:13, ske med beräkningar, provningar eller objektsspecifika lösningar. Det skulle även finnas en dokumentation över det dimensionerade brandskyddet, vilket är en del av verifieringen. Vid behov kunde också en utförligare riskanalys med tillhörande känslighetsanalys vara nödvändig för att verifieringen av brandsäkerheten skulle vara uppfylld (Frantzich & Lundin, 2000; Lundin, 2001; Boverket 1, 2011).

Fördelen med den analytiska dimensioneringen är att brandskyddet anpassas till den specifika byggnaden vilket kan leda till ett kostnadseffektivt brandskydd. Samma flexibilitet är inte möjlig med förenklad dimensionering. Nackdelarna med den analytiska dimensioneringen är att den är tidskrävande samt att den kräver att projektören besitter god kunskap i ämnet, vilket medför en risk för en spridning av säkerhetsnivå beroende på vem som utför den.

En översikt av karaktärsdragen hos förenklad respektive analytisk dimensionering illustreras i *figur 3.2*.



Figur 3.2 – Två sätt att uppnå föreskriven säkerhetsnivå med funktionsbaserad dimensionering enligt BBR.

3.4.2.1 Spridning av säkerhetsnivå

När en projektör valde att dimensionera en byggnad analytisk och använde egna lösningsmetoder fanns det krav, enligt avsnitt 5:13 i BBR18, på att dessa verifierades på något sätt. När utrymningsdimensioneringen i den analytiska dimensioneringen skedde genom beräkningar fanns det också krav, enligt avsnitt 5:14 i BBR 18, på att en dimensioneringskontroll utfördes av en person som inte tidigare varit inblandad i projektet. BBR 18 gav alltså inga råd eller rekommendationer kring *hur* verifieringen och kontrollen av den analytiska dimensioneringen kunde göras för att visa att kraven i

BBR uppfylldes. Detta innebar att det enligt BBR 18 var upp till den enskilda projektören att själv välja typ av verifieringsmetod utifrån det specifika fallet (Boverket 1, 2011).

Avsaknaden av riktlinjer och tillvägagångssätt i BBR 18 om hur verifieringen av analytisk dimensionering skulle utföras har inneburit att brister i dimensioneringen har förekommit. Dessa brister har inneburit att mer strukturerade och tydligare verifieringsmetoder har efterfrågats från flera sakkunniga inom området (Lundin, 2001). Problem med verifieringen bör tas på stort allvar då detta innebär tvetydigheter kring hur kontrollen av att den lägsta accepterade nivån på brandskydd uppfylls då analytisk dimensionering tillämpas.

3.4.2.2 Tydligare författning

Sedan årsskiftet 2011/2012 finns numera Boverkets författningssamling Boverkets allmänna råd (BFS 2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1. I dessa allmänna råd finns det bland annat rekommendationer kring lämpliga verifieringsmetoder, brandscenarier och dimensioneringskriterier (Boverket 3, 2011). Detta är ett steg i en riktning mot en mer reglerad analytisk dimensionering.

Tillvägagångssättet är helt nytt i Sverige och liknande regelverk går att finna internationellt. Ett exempel är Nya Zeeland, där det under 2012 kommit nya rekommendationer för hur dimensioneringsprocessen bör utföras. Syftet är, precis som i Sverige, att de analytiska dimensioneringarna i framtiden ska bli mer kontrollerade och enhetliga (Department of Building and Housing, 2012). Konceptet med att myndigheterna på ett tydligare sätt styr dimensioneringsprocessen har funnits i Storbritannien sedan början av 2000-talet (BSI, 2002).

De allmänna råden i BBRAD är inspirerade av befintliga arbeten från NFPA, SFPE och standarder från Storbritannien. Även rapporter gjorda i Sverige har använts i förarbetet till de nya råden. De brandscenarier och indata som finns i BBRAD har tagits fram med hjälp av råd från experter, befintlig litteratur och remissynpunkter. Rapporten "*Verifying fire safety design in sprinklered buildings*" gjord 2011 av Fredrik Nystedt har fungerat som underlag till de tre verifieringsmetoder som finns angivna i BBRAD (Boverket 4, 2011).

Samma rapport har också inneburit att ett tekniskt byte genom installationen av ett automatiskt sprinklersystem i en byggnad har fått större betydelse i BBRAD, genom att en specifik påverkan på ett brandförlopp nu finns specificerad. Denna påverkan beskrivs mer detaljerat i *avsnitt 7.2.1.1.2*.

De delar av innehållet i BBRAD som anses som relevanta för innehållet i denna rapport återkommer i mer detaljerade beskrivningar på flertalet ställen i kommande kapitel. I verksamheter och byggnader där skyddsbehovet är stort har kraven på brandskyddet ökat i de nya brandskyddsreglerna. Ett exempel på detta är det nu finns krav på sprinkler i vårdboenden (byggnadsklass Br0). För att bedöma de nya tillvägagångssätten i BBRAD har förarbetet omfattats av detaljerade konsekvensutredningar där bland annat kostnad-nyttoanalyser utgjort en del av arbetet (Nystedt, 2011; Boverket 3, 2011).

De nya brandskyddsreglerna kommer innebära en del förändringar och nya tillvägagångssätt för de inblandade aktörerna. Det kommer ta en viss tid att anpassa sig till de nya reglerna och i början kommer detta medföra diverse svårigheter. På lång sikt ska dock de nya brandskyddsreglerna forma ett kostnadseffektivt byggnadstekniskt brandskydd som samtidigt håller en jämbördig och tillräcklig säkerhetsnivå, detta oavsett vem som har utfört brandskyddsdimensioneringen (Boverket 4, 2011).

3.4.2.3 Nordisk harmonisering av analytisk dimensionering

I nuläget pågår ett projekt med att utveckla en teknisk specifikation, INSTA 950, som syftar till att ta fram en gemensam rekommenderad standard för analytisk dimensionering. INSTA är en förkortning för Internordiskt Standardiseringssamarbete. I projektet har analytisk dimensionering tilldelats benämningen Fire Safety Engineering (FSE). Tanken med denna specifikation är att den ska användas som ett verktyg vid brandteknisk dimensionering i de nordiska länderna, dock måste användaren av standarden alltid försäkra sig om att de nationella kraven uppfylls (INSTA, 2012).

I dagsläget saknas en reglerad analytisk dimensionering i de nordiska länderna, förutom i Sverige. Ett standardiseringssamarbete mellan de nordiska länderna har bedömts som möjligt eftersom länderna uppvisar likheter inom byggregler, kultur och styrelseskick, vilket underlättar arbetet. Det finns också en acceptans för användningen av Fire Safety Engineering i samtliga länder, även om detta är i olika stor grad.

Genom att utveckla standardiseringsarbetet så är tanken att en rekommenderad teknisk specifikation för en harmoniserad FSE ska skapas. En stor mängd befintligt internationellt material så som standarder och rapporter är tänkta att användas som underlag när den nya harmoniserade specifikationen ska tas fram. Utvecklingsarbetet är snarlikt det som gjordes när BBRAD togs fram och mycket av det bakomliggande materialet är samma för de båda. BBRAD används alltså inte som direkt input i FSE-arbetet men fungerar som en naturlig inspiration och vägledning.

BBR 19 innehåller en mängd nya föreskrifter och allmänna råd och BBRAD, med allmänna råd kring analytisk dimensionering, är helt nytt i Sverige. Inga direkta motsvarigheter till BBRAD finns heller i de övriga nordiska länderna. Därför är det viktigt att denna föreskrift är grundligt framtagna, genomarbetad och analyserad, om den ska ge inspiration till en harmoniserad specifikation.

3.5 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel

Utvecklingen av det svenska brandskyddet har varit långsam och bygger till stor del på erfarenheter från tidigare inträffade bränder, som har åstadkommit skador på material och människor. Större bränder har genom historien drabbat flera olika svenska städer och sådana händelser har inneburit att det svenska brandskyddet ständigt har utvecklats och förbättrats.

I den historiska genomgång som gjorts i ovanstående stycken kan man tidigt identifiera segment av i dagsläget rådande lagstiftning och myndighetsföreskrifter. Exempelvis kan de krav som gavs från olika föreningar som komplement till då rådande lagstiftning liknas vid Boverkets byggregler idag. Det finns också tidiga bestämmelser kring förebyggande brandskyddsarbete och avstånd mellan byggnader.

Då de första byggreglerna formulerades syftade dessa till att byggandet i Sverige skulle ske på ett sådant sätt, att det innebar en säkerhetsnivå för invånarna som var accepterad av samhället. Byggreglerna har sedan reviderats i takt med den byggnadstekniska utvecklingen, och detta tänk kring accepterad säkerhetsnivå har följt med genom utvecklingen och utgör utgångspunkt för byggreglerna än idag. Vad som menas med säkerhetsnivå accepterad av samhället finns dock inte kvantifierat eller explicit formulerat någonstans i varken lagstiftning eller myndighetsföreskrifter, vilket kan tyckas märkligt då mycket baseras på just denna av samhället accepterade nivå. Detta behandlas mer utförligt i *kapitel 5*.

Risken för oönskade händelser knutna till byggande och byggnader i Sverige kan aldrig elimineras totalt, även om allt utförs enligt de lagar och regler som finns. Med det sagt innebär det att den med dagens byggregler resulterande säkerhetsnivån är bedömd som acceptabel och grundad på erfarenheter, kunskap och subjektiva bedömningar. För att föra resonemanget kring komplexiteten rörande risk och riskbedömning vidare ytterligare, behandlar följande kapitel just dessa områden.

4 Risk

I detta kapitel presenteras den del av litteraturstudien som behandlat begreppen risk och riskhantering. En överblick av olika delar av området ges för att utgöra grund till modellen som används längre fram i rapporten.

4.1 Begreppet risk

När det kommer till att definiera begreppet risk är den mångfacetterade innebörden och det breda tillämpningsområdet komplicerande faktorer. Begreppet är mycket komplext och i det närmaste omöjligt att definiera på ett sätt som fångar in alla aspekter. En tänkbar fara med att använda begreppet risk är att olika personer då kan prata om olika saker (Fischhoff, Watson, & Hope, 1984).

Flera är av åsikten att det kan göras en indelning i två huvudsakliga traditioner när det gäller förhållningssätt till risk. Dels finns det ett tekniskt, naturvetenskapligt förhållningssätt, där risk definieras som en kombination av sannolikhet och konsekvens. Dels finns det ett så kallat socialkonstruktivistiskt förhållningssätt, en beskrivande och förklarande tradition där fokus ligger på hur risker uppfattas. Förespråkarna för detta senare synsätt menar att människors värderingar skiljer sig åt beroende på ett flertal faktorer och därför varierar också vad som kan betraktas som en risk samt hur stor denna bedöms vara (Garrick, 1998; Renn, 1998; Slovic, 2001).

Det finns flera åsikter om hur risk ska definieras även inom de båda förhållningssätten. Ska man ändå försöka uttrycka någon gemensam nämnare för risk så är det sannolikheten för att en negativ konsekvens ska inträffa till följd av någon form av händelse (Nilsson, 2003).

4.1.1 Tekniskt förhållningssätt

Inom det tekniska förhållningssätten strävas det efter att definiera risk med objektiva termer. Kaplan (1997) menar att risk rent tekniskt kan definieras som svaret på tre frågor:

- Vad kan hända?
- Hur troligt är det att det händer?
- Vilka är konsekvenserna av händelsen?

Vidare föreslås det att svaren på dessa tre frågor utgörs av tre beståndsdelar i en tripplett: $\langle S, L, X \rangle$ där S står för scenario, L för sannolikhet och X för konsekvens.

En sådan tripplett utgör ett svar på de tre frågorna, enligt $\langle S_i, L_i, X_i \rangle$ där index i indikerar ett specifikt fall. En grupp av svar uttrycks som $\{\langle S_i, L_i, X_i \rangle\}$ och risk, R , definieras som alla tänkbara svar enligt $R = \{\langle S_i, L_i, X_i \rangle\}_c$ där index c indikerar en komplett grupp av svar. Risk är således definierat som summan av alla scenarier, sannolikheten för att de ska inträffa samt den konsekvens som då uppstår.

Kaplan (1997) poängterar att det är viktigt att notera att detta sätt att definiera risk inte låter sig uttryckas i matematiska termer så som siffror, kurvor eller vektorer, då dessa

koncept inte är tillräckliga för att fånga in hela omfattningen av begreppet risk. Metoden med tripletten är dock ansedd som en tillräckligt bred ansats att börja med för att sedan arbeta vidare ifrån.

4.1.2 Socialkonstruktivistiskt förhållningssätt

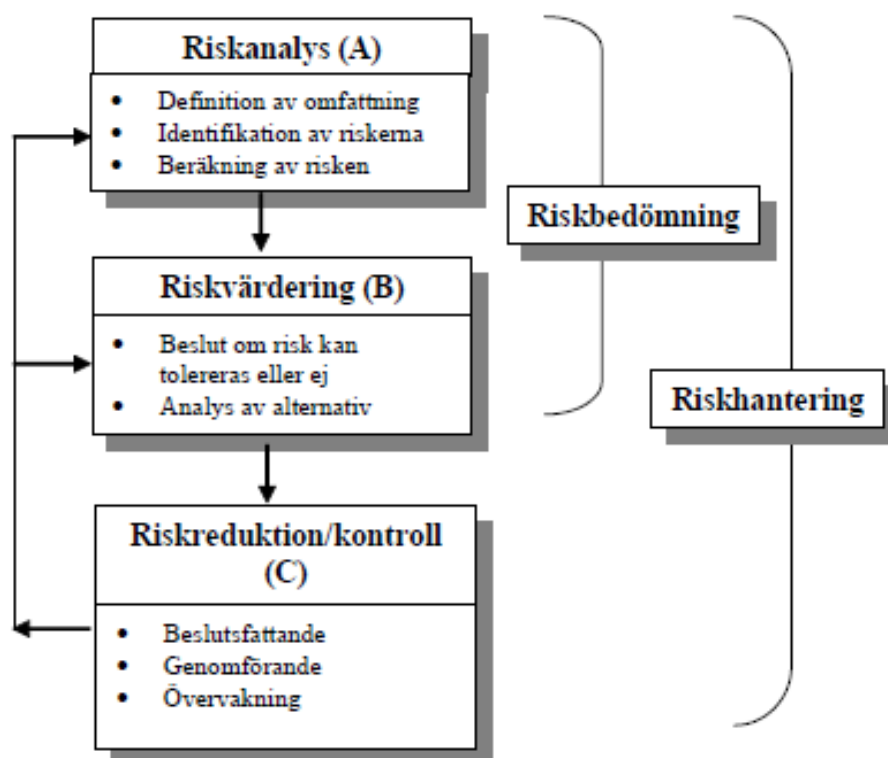
Det tekniska förhållningssättet möter ibland kritik i form av att ett komplext begrepp som risk inte alltid är tillräckligt att definieras enbart som en kombination av sannolikhet och konsekvens (Slovic, 2001). Den tekniska definitionen av risk ger en förhållandevis okomplicerad bild av riskproblematiken, och svarar inte på frågor som varför vissa händelser kan anses oönskade. Det finns emellertid forskning som visat på faktorer som påverkar människors acceptans av teknologiska risker negativt. Människans riskvärdering beror bland annat på om risken (Lundin, 2004):

- Är frivillig eller ofrivillig.
- Är kontrollerbar eller ej kontrollerbar.
- Är känd eller okänd.
- Påverkar framtida generationer.
- Är akut eller kronisk.
- Är naturlig eller teknisk.
- Anses som rättvis eller orättvis.

Vilket perspektiv som används har avgörande betydelse för hur man väljer att utföra sin analys. I vissa situationer kan det vara relevant att väga in värderingar från allmänheten i samband med beslutsfattande, i andra kan det vara mer lämpligt att förlita till tillgänglig statistik eller expertbedömningar.

4.2 Riskhanteringsprocessen

För att sätta begreppet risk i ett större sammanhang studeras här vad som brukar kallas riskhanteringsprocessen, ofta illustrerad så som i *figur 4.1*. Den standardiserade definitionen av "riskhantering" är enligt International Electrotechnical Commission, IEC, hela den process från vilken risker och riskkällor identifieras till och med det att beslut tas om att de ska åtgärdas eller inte (Nilsson, 2003).



Figur 4.1 – Översiktsbild över riskhanteringsprocessens olika steg (Nilsson, 2003).

4.2.1 Riskanalys

Den första delen av riskhanteringsprocessen utgörs enligt *figur 4.1* av riskanalysen. Davidsson (2003) definierar riskanalys som en systematisk identifiering av olycksrisker samt bedömning av risknivåer. Riskanalysen är nästan alltid kopplad till ett beslutsfattande av något slag, exempelvis om en risk ska accepteras, eller om det ska vidtas åtgärder.

Risker kan delas in i olika typer och beroende på vilken typ av risk man studerar krävs en viss analysmetod. Tillämpningsområdet är brett, vilket ställer krav på flexibilitet. Som exempel kan tillvägagångssättet variera då man analyserar säkerhetsrisker jämfört med miljörisker. Ofta gör man, ur ett samhällsperspektiv, en indelning av riskhantering i tre stora områden: säkerhet, hälsa och miljö (Nilsson, 2003).

Det finns en stor mängd olika typer av riskanalyser, och således också ett behov av systematisering av dessa. En vanlig indelning är att en riskanalys kan utföras på sex olika grupper, beroende på hur omfattande de är och hur de behandlar osäkerheter (Paté-Cornell, 1996). De olika grupperna motsvarar olika nivåer av riskanalyser, från de allra enklaste till mycket kvalificerade.

- Nivå 0 innebär endast en identifiering av möjliga riskkällor, utan att försöka analysera eller värdera dessa risker på något kvantitativt sätt.
- Nivå 1 är en så kallad "worst case scenario"-metodik där ett värsta tänkbart scenario analyseras och ingen hänsyn tas till detta scenarios sannolikhet.

- På nivå 2 görs riskanalyser på ett sätt som liknar "worst case scenario", men här grundar sig analysen på det värsta rimliga scenariot. I de flesta fall behandlas inte sannolikheter i analyser på denna nivå.
- Riskanalyser på nivå 3 baseras på en så kallad "bästa uppskattning" av vilka mekanismer och indata som genererar någon form av medel- eller medianvärde för resultatet.
- Riskanalyser på nivå 4 behandlar både konsekvenser och sannolikheter. Här analyseras samtliga identifierade utfall av en definierad starthändelse. Riskanalyser på denna nivå kan illustrera sambanden mellan en viss konsekvens och sannolikhet.
- På nivå 5 gör analysen på samma sätt som på nivå 4, men här behandlas även osäkerheter i indata.

4.2.2 Riskanalysmetoder

Det finns ett flertal olika metoder för riskanalys med olika omfattnings- och detaljeringsgrad. Vissa metoder lämpar sig bäst för övergripande analyser medan andra är bäst lämpade för detaljerade studier av ett begränsat system. Vid valet av metod bör följande faktorer tas hänsyn till (Nystedt, 2000):

- **Användbarhet:** Resultatet av den valda metoden måste uttryckas i termer som kan förstås och tolkas i sammanhanget.
- **Kostnadseffektivitet:** Värdet av riskanalysen måste vara större än kostnaden för att genomföra den.
- **Trovärdighet:** Osäkerheterna i riskanalysens resultat måste vara kvantifierade och inom acceptabla gränsvärden.

Precis som riskanalyser kan delas in i olika nivåer sett till bland annat omfattning enligt *avsnitt 4.2.1*, kan de delas in efter grad av kvantifierbarhet. En grov kategorisering är att göra en indelning i kvalitativa, semi-kvantitativa eller kvantitativa analyser (Nilsson, 2003). Nedan listas ett antal vanliga riskanalysmetoder, indelade enligt denna kategorisering.

4.2.2.1 Kvalitativa metoder

Kvalitativa metoder används främst för att identifiera risker och är ofta anpassade för olika verksamhetstyper (Nilsson, 2003). Resultatet ges ofta som beskrivningar av händelseförlopp vid olika förutsättningar (Nystedt, 2000).

HazOp står för "Hazard and operability studies". Metoden har utvecklats för att identifiera orsakerna till att kvalitets- och produktivitetsmål inte uppnås i en processanläggning. I denna metod kan en särskild avvikelse i en process utgöra utgångspunkten för analysen, exempelvis "inget flöde". En särskild analysgrupp ska sedan försöka granska alla tänkbara orsaker till denna avvikelse och eventuella

följdverkningar (Nilsson, 2003).

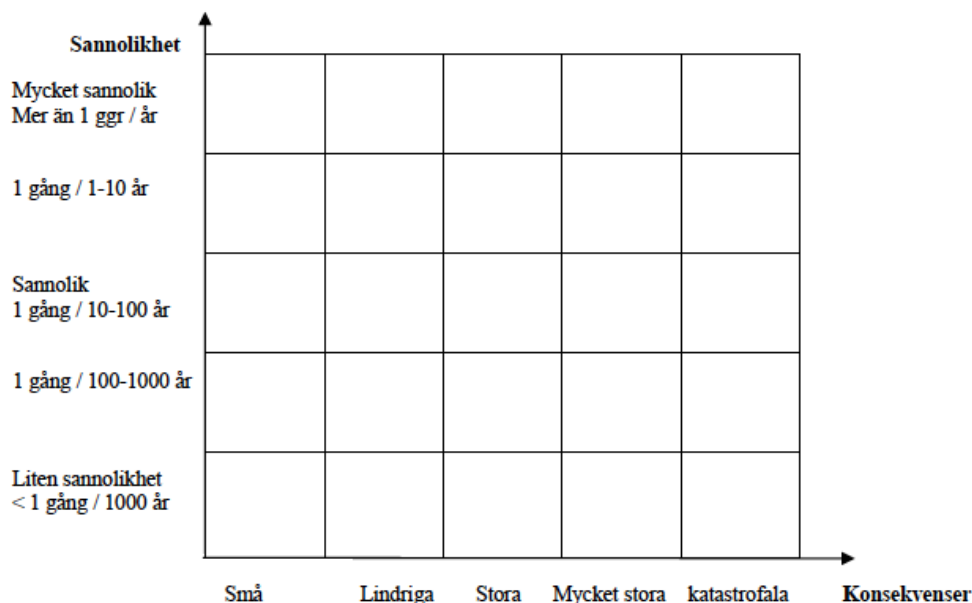
"What if?"- analyser används för att identifiera riskkällor genom att värdera följderna av oplanerade händelser i det studerade systemet. Genom att ställa frågor som börjar med "Vad händer om..?" baserade på erfarenheter görs en analys av tänkbara avvikelser från planerad funktion och drift av systemet. Metoden är relativt enkel, men kräver god fantasi och kunskap om systemet för att ställa de rätta frågorna. När de oönskade händelserna är identifierade, analyseras orsakerna till varför de kan inträffa (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2011).

Grovanalys (eng: Preliminary Hazard Analysis, PHA) är en typ av analys som till exempel kan utföras under projekteringen av en byggnad. Analysmetoden kan ses som en typ av riskidentifiering, där meningen är att de risker som den framtida verksamheten kan innebära identifieras redan under projekteringen och på så sätt kan förebyggas i ett tidigt skede (Johansson & Lundin, 1999)

4.2.2.2 Semi-kvantitativa metoder

De semi-kvantitativa metoderna är mer detaljerade än de kvalitativa och innehåller i viss utsträckning numeriska mått på konsekvenser och sannolikheter. Måtten behöver inte vara exakta utan kan beteckna storleksordningar som sedan kan användas för rangordningar och jämförelser av olika scenarier (Nilsson, 2003).

Riskmatriser kan räknas till semi-kvantitativa metoder där axlarna tilldelats kardinala mått. Ett exempel på hur en matris kan se ut illustreras i *figur 4.2*.



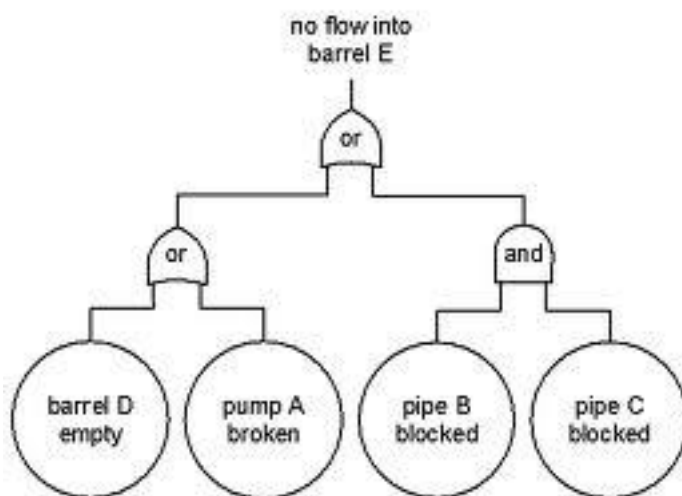
Figur 4.2 – Exempel på riskmatris (Nilsson, 2003).

4.2.2.3 Kvantitativa metoder

De kvantitativa metoderna är helt numeriska och här beskrivs risken i termer som till exempel sannolikheten för den oönskade konsekvensen eller i förväntat antal döda per år till följd av en viss verksamhet. Metoderna kan vara deterministiska eller probabilistiska. Med deterministisk metod avses en metod som ger enstaka värden som resultat. Probabilistiska metoder kombinerar sannolikhet och konsekvens till ett

riskmått (Nystedt, 2000).

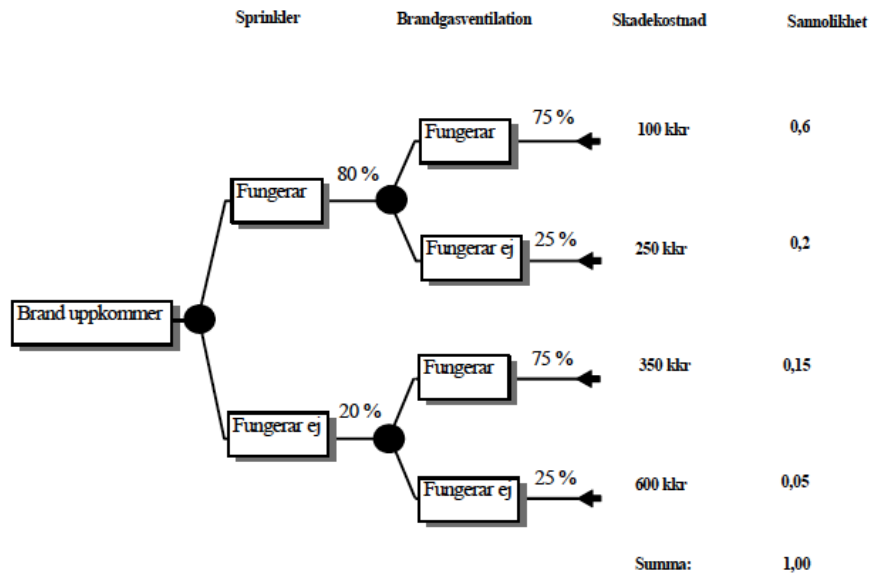
Felträdanalys används för att beskriva vilka olika händelser som kan orsaka ett visst fel i ett system. Metoden används främst i tekniska system och för orsaksutredningar. Den syftar till att identifiera orsakerna till varför oönskade händelser inträffar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2011). Felträdet är uppbyggt av så kallade logiska grindar som beskriver de olika händelsernas inbördes relation och hur de påverkar sluthändelsen. Grindarna är vanligtvis av typen "och" - samt "eller" grindar. En "och" grind innebär att om händelsen på trädnivån över ska inträffa måste båda händelserna som är förknippade med "och" grinden inträffa. "Eller" grinden innebär att någon av händelserna som är förknippade med grinden måste inträffa för att händelsen ovan ska inträffa, se *figur 4.3* (Johansson & Lundin, 1999).



Figur 4.3 – Exempel på felträdanalys (Avontuur, 2000).

QRA står för "quantitative risk analysis" och är en metod med sitt ursprung i processindustrin. Med denna metod försöker man kvantifiera riskerna som existerar på en anläggning och som kan beröra människor både inom eller utanför anläggningen. Både riskmåttarna individrisk och samhällsrisk, se *avsnitt 4.3.3*, beräknas (Nilsson, 2003).

Händelseträdanalys är en metod där det utifrån en utlösande starthändelse konstrueras ett grenverk där varje gren utgör ett möjligt scenario. Grenarna konstrueras baserade på systemets utformning, där olika funktioner och utrustningsdelar med kvantifierad felfrekvens tas med. Resultatet blir ett antal möjliga utfall med tillhörande sannolikhet, se *figur 4.4* (Johansson & Lundin, 1999).



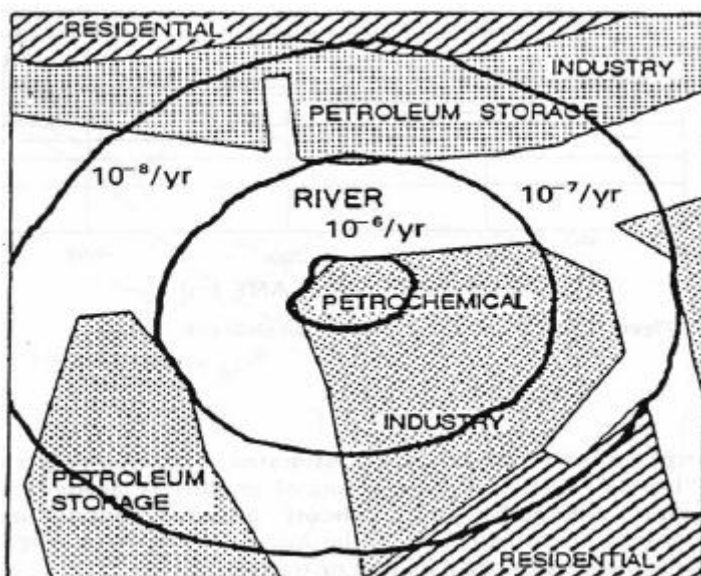
Figur 4.4 – Exempel på händelseträdanalys (Nilsson, 2003).

4.2.3 Riskmått

Vid utförandet av riskanalyser bör analysen mynna i information som presenterar den erhållna risknivån. Denna kan redovisas med ett probabilistiskt riskmått. Individrisk och samhällsrisk är de två vanligaste förekommande probabilistiska riskmåten (Lundin, 2004).

4.2.3.1 Individrisk

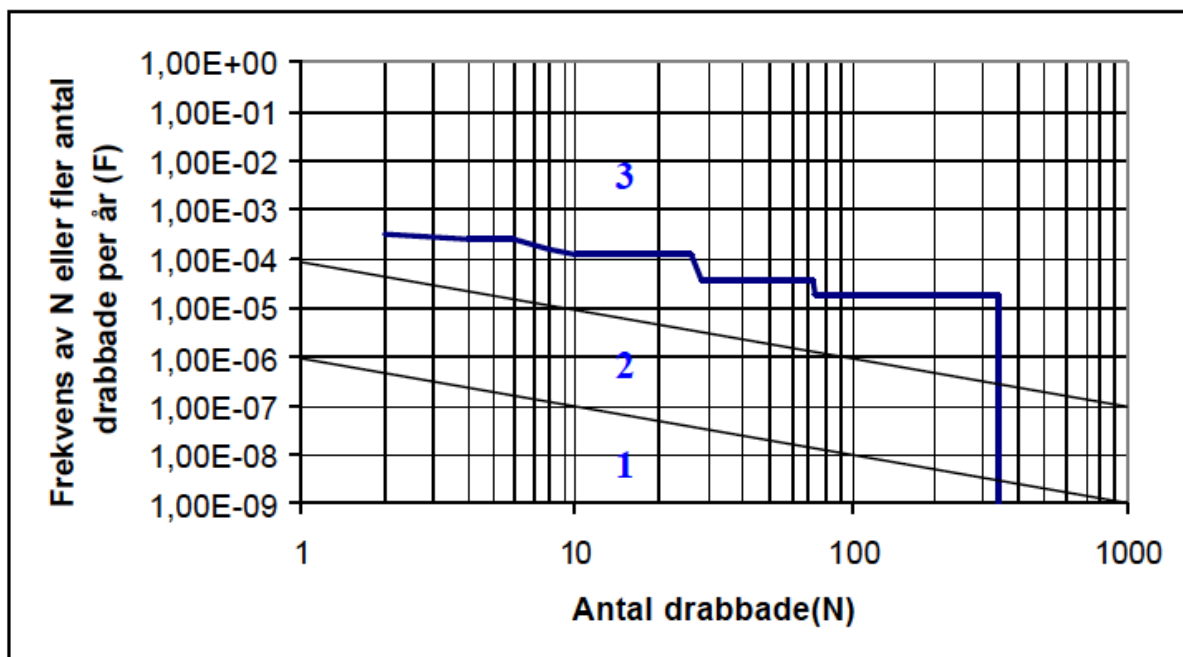
Individrisken avser risken för en given individ att omkomma på en bestämd plats, givet att individen befinner sig på den platsen alltid. Måttet är platsspecifikt och uttrycks oftast i "risk per år". Individrisken presenteras oftast i riskkurvor och anger då hur risknivån för individen varierar med avståndet från den fördefinierade riskkällan, se *figur 4.5*. Måttet tar alltså endast hänsyn till den specifika individen och beaktar inte hur allvarlig risken kan vara ur ett samhällsperspektiv (Davidsson, 2003; Lundin, 2004).



Figur 4.5 – Exempel på individriskkurvor (Dahlberg & Maria, 2001).

4.2.3.2 Samhällsrisk

För att presentera hur allvarlig den totala konsekvensen kan bli för en grupp individer, exempelvis en population, används ofta samhällsrisk som riskmått. Måttet presenterar hur många individer som kan omkomma i värsta fall och inkluderar risker för alla personer. Samhällsrisk kan redovisas med så kallade F/N-kurvor (eng: Frequency of accidents versus Number of Fatalities), se *figur 4.6*, som visar sambandet mellan sannolikheten för en konsekvens och antalet omkomna till följd av konsekvensen. Ofta används en kombination av individrisk och samhällsrisk i riskanalyser för att värdera om risken är acceptabel eller inte (Davidsson, 2003; Lundin, 2004). F/N-kurvor beskrivs mer detaljerat i *avsnitt 6.1.2*.



Figur 4.6 – Exempel på F/N- kurva (Dahlberg & Maria, 2001).

5 BBR och risk

I detta kapitel ges en utförligare beskrivning av valda delar av innehållet i BBRAD och hur detta är kopplat till sådant som efterfrågats i tidigare versioner av BBR. Vidare diskuteras problematiken kring att kvantifiera en av samhället accepterad säkerhetsnivå. Kapitlet avslutas med reflektioner kring hur denna nivå kan utgöra grunden för en jämförelse för att bestämma den relativa säkerhetsnivån för en lokal dimensionerad enligt analytisk dimensionering.

5.1 Efterfrågan på tydligare verifieringsriktlinjer

Brandskyddsprojektering i samband med byggande i Sverige är i dagsläget tydligt uppdelat i förenklad och analytisk dimensionering. Det nya konceptet med detaljerade allmänna råd kring hur analytisk dimensionering kan utföras är unikt för Sverige enligt den genomgång av brandskyddsteknisk historik som finns i *kapitel 3*, men finns alltså i ett fåtal andra länder sedan tidigare.

Problematiken kring att verifiera brandskyddet om det utformas på något annat sätt än enligt den förenklade dimensioneringen är något som blivit uppmärksammat tidigare.

5.1.1 Exempel på problematiken

Lundin (2001) skriver att det i ett projekt finansierat av Brandforsk; "Förtydligad metodik för brandteknisk projektering", har studerats ett fyrtyotal svenska brandskyddsdokumentationer från 90-talets senare hälft, där analytisk dimensionering använts. Slutsatserna från studien beskrivs som oroväckande, då den visade på allvarliga brister vid verifiering och att bristerna inte uppmärksammats vid kontroll. Exempel på brister som påvisades i studien är:

- Otillräcklig dokumentation för att bedöma effekten på säkerheten.
- Så kallad vedertagen praxis används på ett felaktigt sätt.
- Tillförlitlighet hos brandskyddet beaktas ej, det vill säga det bortses från scenarier där systemet felfungerar.
- Analysen av hur säkerheten påverkas av ett tekniskt byte är i flera fall så bristfällig att det inte framgår vilken effekt det tekniska bytet har på varken brandskyddet eller säkerheten i byggnaden.

För att komma till rätta med problem av denna typ efterfrågas tydligare riktlinjer för verifiering av analytisk dimensionering, samt att det utarbetas kriterier för hur utvärdering av en analytiskt dimensionerad lösning bör ske.

Även Nystedt (2011) skriver att analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader har varit ett aktuellt och omdebatterat ämne under några år, där forskning har identifierat flera brister när det gäller verifiering, dokumentation och kontroll. Detta beskrivs i hans rapport "*Verifying fire safety design in sprinklered buildings*" som förutom bakgrund till BBRAD också utgör en del i ett nordiskt projekt om boendesprinkler. I denna rapport ges förslag på en metod för verifiering av tekniska byten med sprinkler, ett ofta använt förfarande inom analytisk dimensionering, se *avsnitt 3.4.2.2*. Denna del av

projektet har ansetts nödvändig då formerna för projektering med analytisk dimensionering varit både ofullständiga och otydliga.

Lundin (2004) tar utrymningssäkerheten som exempel och skriver att en verifiering av att denna är acceptabel måste grunda sig på både en analys av risken och en värdering av om den resulterande säkerhetsnivån är acceptabel eller ej. Att en stor spridning av kvalitet på verifieringar identifierats är dock inte orimligt, då den som verifierar måste göra flera val som är avgörande för kvalitén på verifieringen. Sådana val är till exempel val av riskanalysmetod, omfattning av analysen, beräkningsmetod och acceptanskriterium.

Risken med en otillräcklig verifiering är att en byggnad utförs på ett sätt som inte är tillfredsställande, även om dokumentationen ger sken av att säkerheten är acceptabel (Lundin, 2001). Problemet kan dessutom fortplantas, i de fall befintliga brandskyddsdocumentationer används som inspiration när nya ska upprättas.

5.1.2 BBRAD – ett steg i rätt riktning?

Boverket, som ansvarar för brandskyddsreglerna och uppdateringen av dessa, är också medvetna om problematiken angående verifieringen av den analytiska dimensioneringen. Regleringen från Boverkets sida, gällande den analytiska dimensioneringen, har enligt ovanstående tidigare varit otydlig och ofullständig. Dessa brister har inneburit risker för icke-tillfredsställande utformningar med analytisk dimensionering som kunnat resultera i otillräckliga byggnadstekniska brandskydd.

Boverket har därför valt att utveckla tydligare regleringar och verifierbara krav för att i framtiden ha möjlighet att kontrollera så att den av samhället accepterade säkerhetsnivån på byggnaders brandskydd uppfylls (Boverket 4, 2011). Enligt *avsnitt 3.4.1* är det fortfarande byggherren som är ytterst ansvarig för kontroll av att byggnaden upprättas på ett byggnadstekniskt brandsäkert sätt.

Sedan årsskiftet 2011/2012 finns som tidigare nämnts Boverkets författningssamling Boverkets allmänna råd (BFS 2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1. I denna skrift ges allmänna råd kring bland annat verifiering med betydligt högre detaljeringsgrad än någon gång tidigare.

Det har alltså funnits ett behov av och en, från Boverkets sida, medvetenhet om tydligare allmänna råd i de nya brandskyddsreglerna för att lättare ange hur kraven och kravnivåerna kan uppfyllas samt hur verifieringen och kontrollen bör utföras. Problematiken kring den analytiska dimensioneringen är inte det enda som Boverket vill lösa med nya brandskyddsregler. Boverket ska även sträva efter att EU-harmonisera byggprodukterna i de nya brandskyddsreglerna vilket på lång sikt ska innebära en utveckling av verifikationsstandarder. Det viktigaste målet med nya brandskyddsregler är dock att utveckla verifierbara funktionskrav så att den av samhället lägst accepterade säkerhetsnivån uppfylls vid analytisk dimensionering, anser Boverket (Boverket 4, 2011).

Nedan ges så exempel på innehållet i dessa allmänna råd i BBRAD, knutna till verifiering:

”Analytisk dimensionering bör omfatta en beskrivning av vad som ska analyseras, hur det ska ske och vad som är tillfredsställande brandsäkerhet. Vid analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd bör följande steg ingå:

- *Identifiering av verifieringsbehovet.*
- *Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet.*
- *Kontroll av verifiering.*
- *Dokumentation av brandskyddets utformning.”*

Nedan följer en närmre beskrivning, hämtad från BBRAD, av de föreslagna stegen.

5.1.2.1 Identifiering av verifieringsbehov

I BBRAD skrivs det att det bör klargöras vilka delar av byggnaden som berörs av de avvikelser som görs. En tabell, se *figur 5.1*, är tänkt att fungera som hjälpmedel för detta. På detta sätt kan verifieringsbehovet identifieras på ett systematiskt sätt, vilket bäddar för att själva verifieringen utförs på en relevant nivå.

Del av brandskyddet		Avvikelser från förenklad dimensionering							
		Avsteg				Tillägg			
		1	2	3	4	1	2	3	4
5:2	Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar								
5:3	Möjlighet till utrymning vid brand								
5:4	Skydd mot uppkomst av brand								
5:5	Skydd mot brand- och brandgasspridning inom byggnad								
5:6	Skydd mot brandspridning mellan byggnader								
5:7	Möjligheter till räddningsinsats								
Avd. C, kap. 1.1.2 i EKS	Bärförmåga vid brand								

Figur 5.1 – Hjälpmedel för att identifiera verifieringsbehovet (Boverket 3, 2011).

5.1.2.2 Verifiering

Som allmänt råd, oavsett verifieringsmetod, står det att läsa i BBRAD:

”Verifieringen bör omfatta en riskidentifiering för att identifiera relevanta scenarier som utgör en påfrestning för byggnadens brandskydd. Dessa scenarier bör väljas utifrån risknivån för respektive scenario, dvs. sannolikheten för att scenariot inträffar och konsekvenserna av detta.”

Själva verifieringen ska sedan utföras med någon av följande metoder, eller kombinationer av dem:

- Kvalitativ bedömning.
- Scenarioanalys.
- Kvantitativ riskanalys.

5.1.2.2.1 Kvalitativ bedömning

Kvalitativ bedömning får enligt BBR användas som metod om avvikelserna från förenklad dimensionering är begränsade, eller om utformningens effekt på brandsäkerheten är väl känd och med god marginal uppfyller föreskrifterna. Med begränsade avvikelser avses enligt BBRAD att lösningens påverkan på brandsäkerheten är liten och att osäkerheterna är små. Själva verifieringen kan baseras på logiska resonemang, tillgänglig statistik, beprövade lösningar, enklare beräkningar, med mera.

5.1.2.2.2 Scenarioanalys

Scenarioanalys beskrivs enligt följande i BBRAD:

*”Verifiering med scenarioanalys bör utgå från att byggnadens brandskydd utsätts för ett eller flera scenarier. Val av scenarierna bör utgå från riskidentifieringen med hänsyn till att förutsättningarna och själva påfrestningen i sig kan variera. Erfordrade brandscenarier bör identifieras och motiveras så att de utgör en trolig värsta påfrestning. För samtliga dimensionerande scenarier bör exponeringen vara godtagbar. **Verifiering med scenarioanalys kan baseras på de metoder och med de nivåer för godtagbar exponering som anges i avsnitt 3–5.**”*

Värt att notera är särskilt den avslutande meningen i citatet ovan. För de avsnitt som avses (utrymning, skydd mot spridning inom byggnad och skydd mot spridning mellan byggnader) finns det detaljerade riktlinjer för tillvägagångssätt och även siffervärden på många indataparametrar.

Gällande känslighetsanalys i samband med scenarioanalys står det i BBRAD:

*”Verifiering med scenarioanalys bör omfatta en känslighetsanalys för att identifiera variabler som har stor påverkan på säkerhetsnivån. Sådana variabler bör behandlas konservativt. Exempel på variabler som kan ingå i känslighetsanalysen är brandeffekt, flamtemperatur, utrymmande personers gånghastighet och personers fördelning mellan olika utrymningsvägar. **De variabler för vilka det ges värden i de allmänna råden i avsnitt 3–5 behöver normalt inte analyseras med avseende på känsligheten.** Resultatet av känslighetsanalysen bör ingå i en bedömning för att avgöra om den föreslagna brandskyddslösningen är tillfredsställande.”*

Det görs alltså avsteg från rådet om känslighetsanalys så länge projektören använder sig av de föreslagna värdena på variabler som tilldelats sådana.

5.1.2.2.3 Kvantitativ riskanalys

En verifiering med kvantitativ riskanalys bör baseras på rimliga fördelningar av ingående variabler, enligt BBRAD. Liksom för scenarioanalys finns det här ett råd om att verifieringen bör omfatta en känslighetsanalys. Om denna står:

”Resultatet av känslighetsanalysen bör ingå i en bedömning för att avgöra om den föreslagna brandskyddslösningen är tillfredsställande. Exempel på variabler som kan ingå i känslighetsanalysen är brandeffekt, tillförlitligheten på tekniska system, personers gånghastighet och utrymmande personers fördelning mellan olika utrymningsvägar. Resultatet från en kvantitativ riskanalys kan presenteras med mått som exempelvis anger individrisk eller samhällsrisk.”

Individrisk och samhällsrisk finns beskrivet i avsnitt 4.3.3.1 och avsnitt 4.3.3.2.

5.1.2.3 Tillfredsställande brandsäkerhet

I avsnittet om tillfredsställande brandsäkerhet i BBRAD, står det:

”Brandskyddet kan verifieras genom en jämförelse med det skydd som ges av förenklad dimensionering för en referensbyggnad. Som alternativ kan brandskyddet verifieras mot de kriterier som anges i dessa allmänna råd. Referensbyggnaden bör vara en motsvarande byggnad för vilken förenklad dimensionering tillämpas, t.ex. avseende byggnadsklass, verksamhetsklass, brandbelastning, antal plan och antal personer som får vistas i byggnaden.

För en kvalitativ bedömning bör en jämförelse med en referensbyggnad enligt förenklad dimensionering utgöra nivån för tillfredsställande brandskydd.

För scenarioanalys bör de kriterier som anges i dessa allmänna råd utgöra nivån för ett tillfredsställande brandskydd.

För kvantitativ riskanalys bör nivån för ett tillfredsställande brandskydd avgöras genom jämförelse med en referensbyggnad enligt förenklad dimensionering eller med de kriterier som anges i dessa allmänna råd.”

Denna formulering innebär alltså att en byggnad som dimensioneras enligt BBRAD inte behöver jämföras med en referensbyggnad. Boverket föreskriver alltså här två olika typer av dimensionering som båda ska innebära en säkerhetsnivå som är accepterad av samhället. Kravnivåerna anges som allmänna råd, detta för att behålla flexibiliteten i val av lösningsmetod.

Säkerhetsnivån som erhålls från den förenklade dimensioneringen baseras på lång erfarenhet medan den reglerade analytiska dimensioneringsmetoden i BBRAD är väldigt ny och oprövad. En jämförelse mellan de båda typerna är således intressant, för att analysera om Boverket är konsekventa i sina föreskrifter rörande säkerhetsnivå.

5.2 Säkerhetsnivå accepterad av samhället

Det finns inte någon uttrycklig säkerhetsnivå angiven i BBR 19 som kan användas att värdera risk emot. Om den förenklade dimensioneringen följs till punkt och pricka anses dock säkerhetsnivån vara av sådan grad att den är accepterad av samhället. Denna

acceptansnivå från samhället är inte explicit definierad utan baseras på tidigare erfarenheter och brandskyddets historiska utveckling, se *kapitel 3*. Mot denna bakgrund är det tänkbart att det uppstår svårigheter för projektören att verifiera den säkerhetsnivå som erhålls vid en analytisk dimensionering.

För att verifiera att kraven i byggreglerna efterlevdes vid analytisk dimensionering kunde detta tidigare endast göras genom en relativ jämförelse mot en referensbyggnad, uppförd enligt förenklad dimensionering (Lundin, 2004). I de nya brandskyddsreglerna, BBR 19, utgör fortfarande den förenklade dimensioneringen en acceptabel säkerhetsnivå som alltså inte är absolut. Dock har de nya allmänna råden, BBRAD, om analytisk dimensionering inneburit att det nu finns vägledning i hur en analytisk dimensionering bör verifieras, se *avsnitt 5.1.2*.

5.2.1 Att bestämma en acceptabel säkerhetsnivå

I tidigare versioner av BBR har det funnits krav på att riskanalyser, vid behov, ska användas för att verifiera så att den acceptabla säkerhetsnivån uppfylls. Det har dock inte funnits angivet vilka metoder eller riskmått som ska användas för en sådan verifiering, vilket fortfarande är fallet. Detta i kombination med riskbegreppets komplexitet och mångfacetterade innebörd kan utgöra en tänkbar orsak till att det aldrig har, och fortfarande inte, existerar en absolut säkerhetsnivå i BBR (se tidigare kapitel).

När det kommer till att ta fram en sådan säkerhetsnivå kan detta exempelvis ske på något av nedanstående tre sätt eller kombinationer av dem (Lundin, 2004):

- Politiska beslut.
- Tillgänglig statistik.
- Använda fastställda säkerhetsnivåer från andra områden.

5.2.1.1 Politiska beslut

I de fall politiska beslut ligger bakom bestämmandet av acceptabla säkerhetsnivåer är det nödvändigt att fastställa vilka kriterier denna säkerhetsnivå ska bestämmas utifrån. Några vanliga sådana kriterier är (Mattsson, 2000):

- Rättighetsbaserade kriterier.
- Nyttobaserade kriterier.
- Teknologibaserade kriterier.

5.2.1.1.1 Rättighetsbaserade kriterier

Ett exempel på hur man kan använda sig av rättighetsbaserade kriterier är att fastställa en gräns för exempelvis den accepterade risknivån för att dö i samband med brand i byggnad. Om denna gräns bestäms och uttrycks på formen 10^{-x} så ska denna gräns vara "rättvis", det vill säga att den ska gälla för alla individer, oavsett övriga förutsättningar (Mattsson, 2000).

Det finns dock stora svårigheter att skatta en sådan absolut risknivå eftersom alla byggnader är unika samt att alla risker inte på förhand är kända. Vidare skulle en absolut risknivå för varje specifikt riskområde också kunna innebära att monetära resurser fördelas på ett ineffektivt sätt. Marginalkostnaderna stiger med sjunkande risk och detta innebär att när risken går mot noll kommer de förebyggande åtgärderna att bli väldigt dyra. Detta bidrar också på lång sikt till en försämring i välfärden eftersom resurserna kan användas bättre inom andra områden (Johansson & Lundin, 1999; Mattsson, 2000; Lundin, 2004).

Det går också att ifrågasätta rimligheten i att fastställa en absolut nivå och sedan åstadkomma denna för varje individ. Liksom riskperceptionen och riskbenägenheten varierar mellan individer varierar också rena fysiska förutsättningar. Dessutom finns det en stor mångfald av byggnader som utgör en annan del av förutsättningarna. Att fastställa en säkerhetsnivå som blir gällande för alla, oavsett inställning till risk, hälsostatus och byggnadens utformning, skulle bli enormt resurskrävande och påvisar den ekonomiska orimligheten i att likställa varje individs säkerhetsnivå.

Problemet hanteras i BBR 19 genom särskilda krav som gäller utsatta grupper, exempelvis rörande frångänglighet för rörelsehindrade personer. Sådana krav anses ge en godtagbar säkerhetsnivå, snarare än att de resulterar i en absolut säkerhetsnivå som är identisk med andra gruppers säkerhetsnivå.

5.2.1.1.2 Nyttobaserade kriterier

För att på ett kostnadseffektivt sätt minska en risk, med en viss åtgärd, är ett nyttobaserat tillvägagångssätt att föredra. Det nyttobaserade tillvägagångssättet kan ha kostnad-nyttoanalyser och kostnads-effektanalyser som verktyg för att underlätta ett beslutsfattande. Syftet är att utreda vilka fördelar en viss åtgärd kan tänkas ha samt om åtgärden på lång sikt blir kostnadseffektiv (Mattsson, 2000). Inom brandskydd kan nyttobaserade metoder användas för att påvisa att en viss brandteknisk åtgärd minskar risken samtidigt som den på lång sikt är kostnadseffektiv och bidrar till ökad välfärd i samhället. En nackdel är att sådana analyser lätt kan bli mycket omfattande och således både tids- och resurskrävande.

En parallell kan dras till att det i dagens BBR finns krav på installation av automatiskt släcksystem för vissa typer av vårdboenden så som äldreboenden och sjukhus. I dessa typer av lokaler är det tänkbart att en brand kan innebära så pass stora konsekvenser att en sådan installation anses som försvarbar ur ett nyttoperspektiv.

5.2.1.1.3 Teknologibaserade kriterier

Ett annat sätt att bestämma kriterier för riskacceptans är att använda sig av teknologibaserade kriterier. Detta är ett tankesätt som innebär att beslutsfattaren alltid använder bästa möjliga teknik för att minska risken. Metoden har både för- och nackdelar och bör inte användas som enda underlag vid praktiska beslut. En nackdel är att teknik ständigt förnyas och blir bättre vilket innebär höga kostnader och kontinuerliga nyinvesteringar. När det gäller brandskydd kan nya effektivare automatiska släcksystem väljas för att minska risken i en nybyggnation. Ett sådant tekniskt val behöver inte vara förknippat med höga kostnader eftersom kostnaderna för byggnadens totala brandskydd kan reduceras med ett sådant val.

5.2.1.2 Tillgänglig statistik

Om inte politiska beslut används för att bestämma en acceptabel säkerhetsnivå, så är ett andra sätt att låta tillgänglig statistik över inträffade händelser utgöra underlag för bestämmandet av en sådan. För att statistiken ska vara tillförlitlig krävs det att den är omfattande och sträcker sig över långa tidsperioder. Det är också av betydelse att statistiken omfattar nyttig information och orsakssamband för att kunna utgöra underlag till att bestämma säkerhetsnivån. Antalet dödsfall i Sverige som är direkt kopplat till brister i det byggnadstekniska brandskyddet finns det väldigt lite statistik över vilket innebär att det är svårt att definiera en acceptabel säkerhetsnivå utifrån detta (Lundin, 2004).

Johansson och Lundin (1999) diskuterar kring svårigheterna med att fastställa kvantitativa acceptanskriterier för brandriskerna i en byggnad. Mycket handlar om att det finns bristfällig kunskap om vilka risker våra byggnader innebär. Det mesta av den tillgängliga statistiken över bränder rör frekvens och konsekvenser för lägenhetsbränder, medan finns dåligt med statistiskt underlag för bränder i publika lokaler så som biografen och köpcentrum. Detta beror helt enkelt på att det är väldigt sällan som dödsfall inträffar på grund av brand i dessa lokaler. För att kvantitativt kunna beräkna risken för dödsfall i exempelvis varuhus i avsaknad av statistiskt underlag måste mycket tillit sättas till bedömningar och skattningar. Sådana är mycket svåra att göra och medför subjektiva resultat.

5.2.1.3 Använda fastställda säkerhetsnivåer från andra områden

Ett tredje sätt att bestämma en acceptabel säkerhetsnivå är att använda fastställda säkerhetsnivåer från andra områden. Hur en människa uppfattar och accepterar en risk är dock väldigt individuellt och kontextberoende. Detta innebär att en risk kan anses, av människan, som acceptabel inom ett område men oacceptabel inom ett annat. Det finns många faktorer som påverkar hur människan uppfattar och värderar en risk vilket betyder att den acceptabla säkerhetsnivån varierar mellan olika områden. Det är därför inte lämpligt att applicera accepterade säkerhetsnivåer från ett område på ett annat, se *avsnitt 4.1.2*.

5.2.2 Att använda en accepterad säkerhetsnivå som jämförelsegrund

Då det inte finns någon fastställd absolut säkerhetsnivå i BBR, är det inte heller relevant att försöka kvantifiera en sådan för analytisk dimensionering. Att försöka fastställa en absolut säkerhetsnivå är dessutom förenat med en del svårigheter, knutna till osäkerheter i indata och okunskap om hur denna osäkerhet varierar med byggnadstyp, verksamhet och andra faktorer (Lundin, 2004). Det är då mer lämpligt att fokusera på att försöka fastställa en säkerhetsnivå relativt den för förenklad dimensionering. Då BBR i dagsläget utgör en av samhället accepterad säkerhetsnivå anses förenklad dimensionering fungera som utgångspunkt vid jämförelsen.

Lundin (2004) är inne på samma spår när han skriver att det egentligen inte finns något behov av att bestämma en absolut säkerhetsnivå för byggnadstekniskt brandskydd. Istället bör det prioriteras att ta fram en metod för att avgöra vad som är tillfredsställande brandskydd och inte.

Fördelen med att undersöka relativa förhållanden mellan ett accepterat alternativ och ett önskat alternativ är dels att det kan undvikas att explicit ta ställning till en acceptabel

säkerhetsnivå vilket kan vara svårt. Dessutom kan stora kunskapsosäkerheter elimineras vid analysen (Johansson & Lundin, 1999).

5.3 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel

Eftersom samhällets riskvärdering knappast kan sägas vara densamma för vare sig tillämpningsområde eller individer är det förmodligen omöjligt att definiera en absolut säkerhetsnivå för brandskyddet. En säkerhetsnivå som baseras på alla individers riskvärderingar samt experters kunnande skulle skapa en acceptabel säkerhetsnivå som representerar stora delar av samhällets värderingar. Detta är dock inte en möjlighet eftersom det hade krävt ett omfattande arbete och resultatet med arbetet hade varit förenat med stora osäkerheter som troligen hade resulterat i svårigheter när den acceptabla absoluta säkerhetsnivå för samhället skulle definieras.

Då begreppet risk är så pass komplext och ofta värderas subjektivt är det inte möjligt eller effektivt att i framtiden sträva efter en absolut säkerhetsnivå för det byggnadstekniska brandskyddet. Lundin (2004) menar att det inte finns något behov att definiera en absolut säkerhetsnivå utan istället efterfrågas metoder som på ett tillfredställande sätt kan verifiera vad som är ett acceptabelt brandskydd. Exempel på sådana efterfrågade metoder finns i BBRAD och förhoppningen är att dessa ger en säkerhetsnivå vid analytisk dimensionering som uppfyller en motsvarande nivå som den för den förenklade dimensioneringen utan att en relativ jämförelse behövs.

Inom andra områden, exempelvis konstruktionsområdet, är det lättare att kvantifiera en säkerhetsnivå eftersom ingående parametrar ofta är av ren teknisk karaktär och således låter sig kvantifieras inom relativt smala intervall. Olsson och Frantzich (1999) gör ett försök att applicera tänket inom konstruktionsområdet på utrymningsområdet men fastslår att detta inte går, då osäkerheterna är för stora inom det senare området. En stor bidragande osäkerhetsfaktor är den mänskliga faktorn, som innebär stor spridning både gällande beteende vid brand och inställning till risk. De ofta komplexa parametrarna inom brand- och riskområdet medför att matematiska modeller och beräkningsverktyg från andra, mindre komplexa, områden ofta blir otillräckliga för att definiera en absolut säkerhetsnivå.

Eftersom tillvägagångssättet med en reglerad analytisk dimensionering inte finns i så många länder kommer BBRAD att vara en del av utvecklingen inom detta område. Då det inte finns mycket historik från andra länder att tillgå är det svårt att på förhand veta hur BBRAD kommer påverka det svenska byggnadstekniska brandskyddet. Förhoppningarna är att BBRAD kommer bidra till att säkerhetsnivån på ett tillfredställande sätt uppfylls samtidigt som nivån inte varierar nämnvärt för samma typer av byggnader. Det är svårt att veta i dagsläget om målen med nya BBRAD kommer uppfyllas på ett tillfredställande sätt. Det är därför viktigt att kontinuerliga utvärderingar och analyser görs.

Det är inte endast det byggnadstekniska brandskyddet som bestämmer om samhället accepterar den säkerhetsnivå, gällande brand, som idag finns. Lundin (2005) skriver att bränder i byggnader som innebär katastrofer är en sorts risk som samhällets resurser måste klara av att hantera på ett föredömligt sätt. Dessa resurser kan bland annat omfattas av räddningstjänsten, media, krishanteringsorgan och det förebyggande brandskyddet.

Misslyckas arbetet med detta kommer individen inte att acceptera den säkerhetsnivå som det byggnadstekniska regelverket genererar. Avsaknaden av större katastrofer i händelse av brand innebär, på lång sikt, att individen accepterar den säkerhetsnivå som det byggnadstekniska brandskyddet innebär. Den enskilda individen har också en begränsad förmåga att bestämma och påverka brandskyddet och brandrisken som han eller hon utsätts för i allmänna lokaler. Det finns därför ett behov att samhället kontrollerar den säkerhetsnivå som det byggnadstekniska brandskyddet innebär (Lundin, 2005). Skulle det inte finnas någon kontrollerad accepterad säkerhetsnivå på brandskyddet hade detta troligen inneburit att individen inte haft någon tillförlitlighet till brandskyddet i allmänna lokaler och i förlängningen kanske undvikt att besöka dessa. Hur en sådan kontroll skulle kunna se ut i praktiken är dock något som ligger utanför denna rapports avgränsningar.

6 Teoretisk bakgrund för den jämförande analysen

Detta kapitel fungerar som en sammanfattande beskrivning av bakomliggande faktorer till varför denna rapports modell ser ut som den gör.

6.1 Analytisk utvärdering av säkerhet

Johansson och Lundin (1999) fastslår att det är möjligt att använda riskbaserade metoder då brandskyddet i en byggnad dimensioneras. De ger förslag på två huvudsakliga angreppssätt när det kommer till att utvärdera säkerhet analytiskt:

- Deterministisk riskvärdering.
- Probabilistisk riskvärdering.

6.1.1 Deterministisk riskvärdering

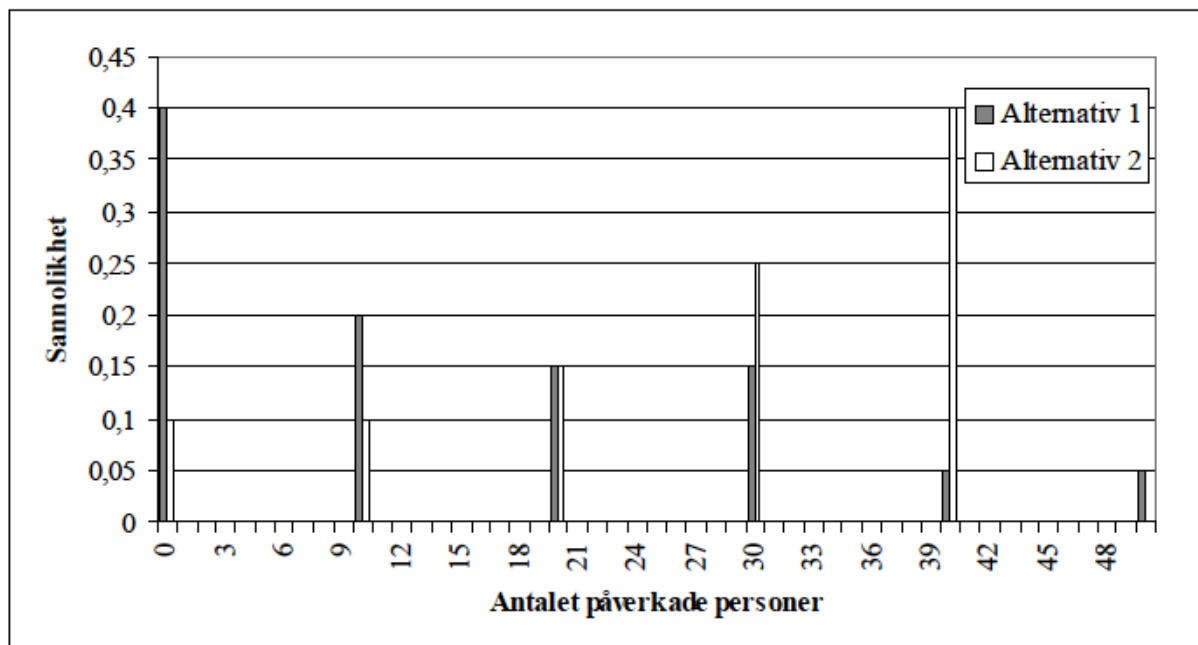
Vid en deterministisk värdering bortses det från hur ofta en oönskad händelse beräknas inträffa. Det är endast konsekvensen som beräknas och sedan värderas utan att det tas hänsyn till sannolikheten att konsekvensen ska realiseras (Johansson och Lundin, 1999).

Davidsson, Lindgren och Mett (1997) skriver att olyckor som beaktas i deterministiska värderingar kan vara av två olika typer:

- Värsta tänkbara skadehändelse ("worst case"): den teoretiskt mest omfattande skadehändelse som kan inträffa, till följd av exempelvis synnerligen ogynnsamma förhållanden eller att flera skyddssystem felfungerar.
- Dimensionerande skadehändelse: en händelse med den största omfattning en skadehändelse bedöms kunna få med hänsyn tagen till de riskreducerande åtgärder som genomförts.

Fördelarna med deterministisk riskvärdering är att analysen kan göras ganska enkelt och blir lätt att kommunicera. En svaghet är att om inte sannolikhet beaktas när analysen utgår från värsta tänkbara skadehändelse kan orimligt stora resurser läggas på en viss typ av riskreducerande åtgärder, se *avsnitt 5.2.1* (Davidsson et al., 1997). En annan effekt av detta är exempelvis att två byggnader med samma verksamhet kan komma att betraktas lika sett ur riskperspektiv, även om frekvensen för den oönskade händelsen är flera gånger större i den ena (Johansson och Lundin, 1999). Detta är något som måste beaktas vid jämförelse i säkerhetsnivå mellan två byggnader.

En annan betydande svaghet med metoden är att fördelningen av konsekvensen inte redovisas. Om konsekvensen exempelvis är antalet av en brand påverkade personer och två alternativa skyddssystemslösningar ska jämföras kommer en jämförelse baserad på värsta tänkbara skadehändelse endast utgöra en liten del av tänkbara utfall. Problematiken illustreras genom ett exempel i *figur 6.1*. I figuren innebär alternativ 2 nästan tre gånger så stort förväntat antal påverkade personer per brand som alternativ 1. Trots detta blir alternativen nästan likvärdiga om utvärderingen sker med hjälp av det värsta tänkbara scenariot (40 påverkade personer i alternativ 2 och 50 i alternativ 1) (Johansson och Lundin, 1999).



Figur 6.1 – Exempel på problematiken förknippad med att endast använda värsta tänkbara scenario (Johansson & Lundin, 1999).

6.1.2 Probabilistisk riskvärdering

Det som skiljer den probabilistiska värderingsmetoden från den deterministiska är att även sannolikheten för en oönskad händelse tas med i värderingen. De vanligast förekommande riskmått vid probabilistiska riskvärderingar är individrisk och samhällsrisik, ofta presenterade som individriskkurvor respektive F/N-kurvor, se *avsnitt 4.2.3.2*.

Med hjälp av F/N-kurvor kan en mer fullständig information om olika riskers karaktär erhållas, jämfört med om risk uttrycks som ett tal, exempelvis som förväntat antal omkomna under ett år. En F/N-kurva visar sambandet mellan den ackumulerade frekvensen av olika händelser och tillhörande konsekvens. Detta medför att kurvan får en principiell lutning enligt *figur 4.6*, ofta i trappform. Lutningen bestäms av förhållandet mellan frekvens av olyckor med små konsekvenser och olyckor med stora konsekvenser. En stor andel olyckor med stora konsekvenser resulterar då i en flack kurva, medan motsatsen ger en kurva med ett brant utseende (Davidsson et al., 1997).

6.2 Kriterium för säker utrymning

När en brand startar i en byggnad kommer förhållandena i byggnaden att försämrats med tiden vilket också kommer påverka personerna som befinner sig i byggnaden. Brandskyddsdimensioneringen av en byggnad syftar till att trygga personsäkerheten vid brand och för att åstadkomma en säker byggnad krävs det tydliga dimensionskriterier för säker utrymning.

Avsnitt 5:3 i BBR 19 handlar om hur en byggnads utrymningsdimensionering vid brand ska utformas, och det står att läsa i avsnitt 5:31:

”Byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredställande utrymning vid brand. Med tillfredställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats. (BFS 2011:26).”

Detta innebär alltså att det är en mängd olika parametrar som utgör dimensionskriterierna för säker utrymning vid brand. För att uppnå en tillräcklig personsäkerhet i en byggnad krävs det alltså att brandskyddet är utformat på ett sätt som möjliggör en tillfredställande utrymning. När en byggnads brandskydd dimensioneras förenklat och kraven i BBR följs till punkt och pricka uppnås en nivå på brandskyddet som av samhället anses vara tillräcklig för att möjliggöra en tillfredställande utrymning (Boverket 2, 2011).

Vid analytisk dimensionering av en byggnad måste brandskyddsprojektören verifiera utrymningssäkerheten och visa att en tillfredställande utrymning kan ske efter de förutsättningar som finns för byggnaden. För att kunna verifiera utrymningen måste lämpliga kriterier användas så att utrymningssäkerheten kan fastställas på ett lämpligt sätt.

Konsekvenserna av en brand kan i en del fall mätas i antalet döda. Vid utrymningsdimensionering är dock inte detta ett lämpligt kriterium. Detta beror bland annat på att det väldigt sällan inträffar bränder där flera personer omkommer och det finns därför inte tillräcklig kunskap eller information för att fastställa kvantitativa acceptanskriterier för detta (Johansson & Lundin, 1999).

Istället brukar tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår i en byggnad till följd av brand vara det dimensionskriterium som används när utrymningssäkerheten verifieras vid en analytisk dimensionering. I BBRAD anges de nivåer för kritiska förhållanden som accepteras för att en säker utrymning ska kunna genomföras, se *tabell 6.1*.

Tabell 6.1 – Kriterier för kritiska förhållanden.

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv.	Lägst $1.6 + (\text{rumshöjden [m]} * 0,1)$ 10,0 m i utrymmen > 100 m ²
2. Siktbarhet, 2,0 m ovan golv.	5,0 m i utrymmen ≤ 100 m ² . Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår.
3. Värmestrålning/Värmedos.	Max 2,5 kW/m ² eller en kortvarig strålning på max 10kW/m ² i kombination med max 60 kJ/m ² utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m ²
4. Temperatur.	Max 80 °C
5. Toxicitet 2,0 m ovan golv.	Kolmonoxidkoncentrationen (CO) < 2000 ppm Koldioxidkoncentrationen (CO ₂) > 5 % Syrgaskoncentrationen (O ₂) > 15 %

För att uppfylla godtagbara förhållanden ska kriterium 1 eller 2 samt kriterium 3 till 5 vara uppfyllda. Om sikten inte är kritisk kan det i vissa fall accepteras att utrymningen sker genom brandgaserna. I dessa fall innebär detta alltså att kriterium 1 och 2 i *tabell 6.1* tillsammans måste beaktas då tid till kritiska förhållanden fastställs (Boverket 2, 2011).

När något av kriterierna 1 tillsammans med 2 eller kriterium 3 till 5 inte längre är uppfyllda innebär det att kritiska förhållanden råder i byggnaden. Det kriterium eller den kombination av kriterier som först blir kritiskt blir också det dimensionerande kriteriet och utgör således den tidsram som personerna i byggnaden har på sig för att slutföra utrymningen.

Tiden till dess att kritiska förhållanden inträffar jämförs med tiden det tar för personerna att utrymma byggnaden vilket ger den så kallade tidsmarginalen. Om tiden för utrymningsförloppet är längre än tiden till kritiska förhållanden innebär det en negativ tidsmarginal. Detta innebär i sin tur att den brandskyddstekniska dimensioneringen måste förbättras och förses med andra lösningar så att tidsmarginalen istället blir positiv.

Att använda måttet antalet döda som dimensionerande kriterium, som nämnt ovan, hade inneburit lägre krav på brandskyddet än vad som är gällande idag, vilket i förlängningen kunnat innebära att personskadorna till följd av brand hade ökat. En sådan säkerhetsnivå hade troligen inte heller varit lika accepterad av samhället som dagens nivå.

6.3 Att jämföra risker

Rapportens mål är att ta fram ett förslag till en modell som kan användas för att jämföra resulterande säkerhetsnivå i samband med utrymning för en viss typ av lokal med två olika, av Boverket godkända, typer av dimensioneringsmetoder. Detta för att studera om någon väsentlig skillnad i sådan nivå kan identifieras.

Riskkollegiet (1991) listar ett antal rekommendationer rörande riskjämförelser som bedöms som relevanta i sammanhanget, och som bör tas i beaktning i den modell som används i denna rapport. Några av dessa rekommendationer är:

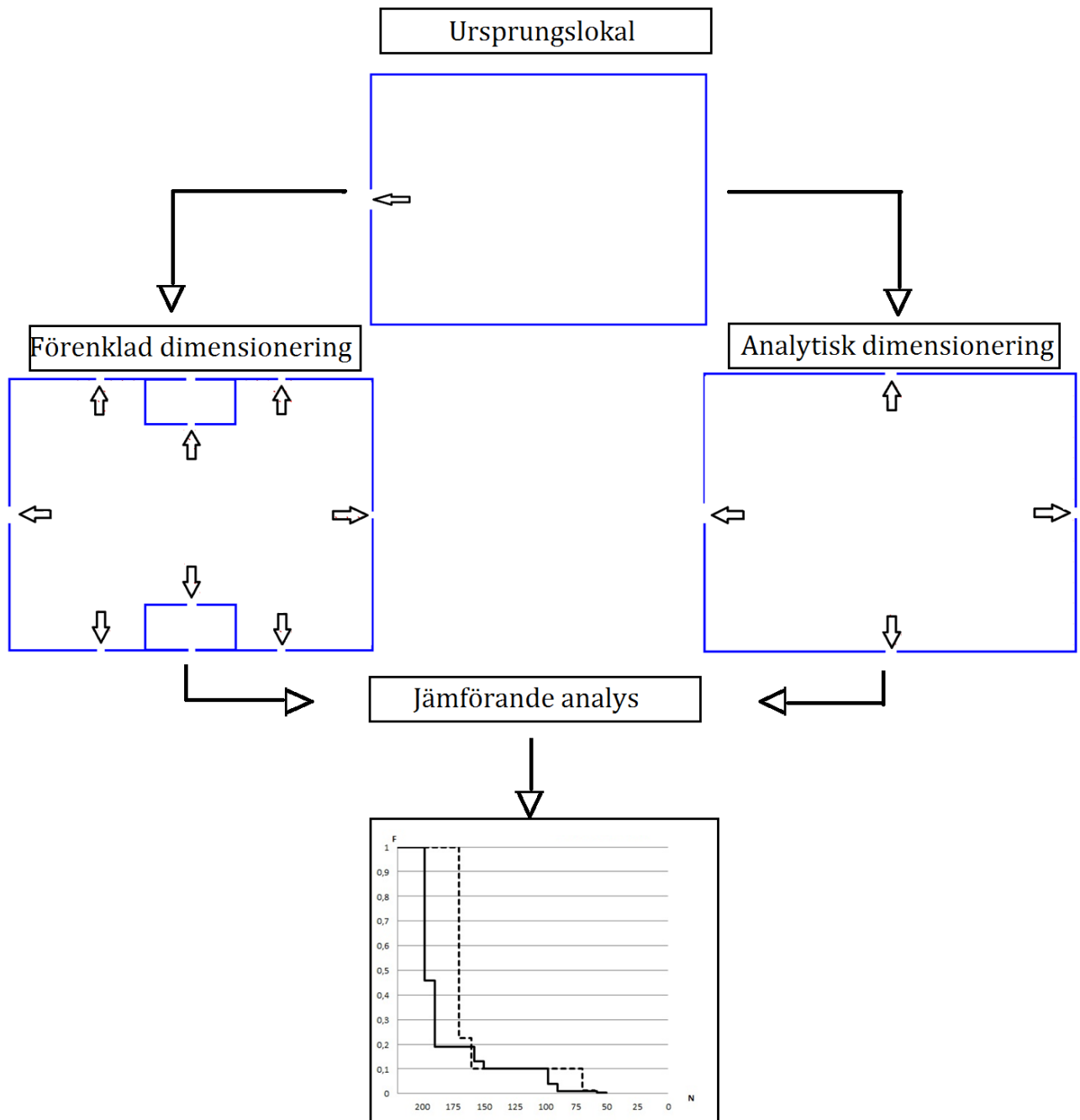
- Syftet med riskjämförelsen ska tydligt anges.
- Riskers storlek bör inte anges med ett tal, utan med en så fullständig presentation som möjligt av de egenskaper som karakteriserar risken.
- Sammanhang mellan olika sannolikheter och tillhörande konsekvenser bör framgå.
- Förhållanden som berör trovärdigheten av de sannolikhetsuppskattningar som jämförelsen baseras på samt osäkerheter ska belysas.

6.4 Modell för jämförelse i denna rapport

I detta avsnitt listas karaktärsdragen för den modell som kommer att användas för den jämförande analysen i denna rapport:

- Eftersom denna rapport behandlar en relativ jämförelse mellan riskerna i två utformningar och det antas att utformningen inte har någon effekt på hur ofta bränder uppstår i lokalen är det lämpligt att beräkna risken per brand, istället för exempelvis risken per år. Således behöver inga sannolikheter rörande brands uppkomst tas fram.
- Tillvägagångssättet med att undersöka relativa förhållanden mellan ett accepterat alternativ och ett annat alternativ har som tidigare nämnt i *avsnitt 5.2.2* fördelar i form av att en absolut säkerhetsnivå inte behöver definieras explicit och att stora kunskapsosäkerheter kan elimineras.
- Med rapportens mål följer ett behov av att på ett systematiserat sätt ta fram riskprofilen för de olika utvalda lösningarna. Därför används en riskanalysmetod motsvarande nivå 5 enligt *avsnitt 4.2.1*, då detta anses mest lämpligt när riskprofiler ska ställas mot varandra och jämföras. Detta innebär alltså en riskanalys som kan illustrera sambanden mellan en viss konsekvens och sannolikhet, där osäkerheter tas i beaktning.
- Händelseträdmotodik, beskriven i *avsnitt 4.2.2.3* används som riskanalysmetod för att beskriva vad som kan inträffa om det börjar brinna i samlingslokalen. De två olika utformningarna har olika ingående brandskyddslösningar och effekterna av detta kan åskådliggöras tydligt genom händelseträdmotodik.
- Ingående sannolikheter i händelseträden tas fram med hjälp av litteratursökning, tillgänglig statistik och egna bedömningar. Bakomliggande verktyg för framtagning samt osäkerheter i indata redovisas.
- För att beskriva brandrisker i en byggnad anses samhällsrisk vara ett lämpligt riskmått, då det är av intresse att studera hur många personer som påverkas negativt av branden. Denna negativa påverkan definieras som antalet personer utsatta för kritiska förhållanden enligt resonemanget i *avsnitt 6.2* ovan.
- Svagheter med en strikt deterministisk riskvärdering har lyfts fram i *avsnitt 6.1.1* ovan, varför det anses som viktigt att även presentera spridningen av antalet påverkade personer och inte bara medelvärdet. Detta illustreras genom F/N-kurvor.
- Den positiva tidsmarginalens fördelning kommer också att redovisas genom F/N-kurvor för att ge en mer nyanserad bild av hur säkerhetsnivåerna ser ut.
- Modellen kan beskrivas som en kombination av verifieringsmetoderna scenarioanalys och kvantitativ riskanalys, enligt vad som skrivs i *avsnitt 5.1.2.2*.

I figur 6.2 illustreras principen för den jämförande analysen. I följande kapitel redovisas analysens olika delar i detalj.



Figur 6.2 – Översiktbild över den jämförande analysens olika delar.

7 Förutsättningar och indata för den jämförande analysen

I detta kapitel presenteras de förutsättningar och de indata som används i den jämförande analysen. Vidare beskrivs det vilka resonemang och antaganden som ligger bakom.

7.1 Förutsättningar

I detta avsnitt beskrivs förutsättningarna för den jämförande analysen i form av att utförandet av den aktuella lokalen enligt förenklad respektive analytisk dimensionering presenteras.

7.1.1 Lokal

Den jämförande analysen görs för en samlingslokal där inspiration till lokalen har hämtats från en verklig byggnad, projekterad för några år sedan. Den aktuella byggnaden har en stomme i betong och innehåller både publika och icke publika lokaler. Verksamheten i byggnaden är av typen varuhus och kategoriseras som verksamhetsklass 2B enligt BBR 19, det vill säga en samlingslokal för mer än 150 personer.

Då en jämförelse av säkerhetsnivå mellan förenklad och analytisk dimensionering ska göras i denna rapport måste byggnaden också dimensioneras på dessa två sätt. Med den befintliga byggnaden som utgångspunkt, görs justeringar åt två olika håll så att byggnadens brandskydd faller inom ramen för de allmänna råd som anges i BBR 19 respektive BBRAD. Dessa justeringar beskrivs i detalj i kommande avsnitt i detta kapitel.

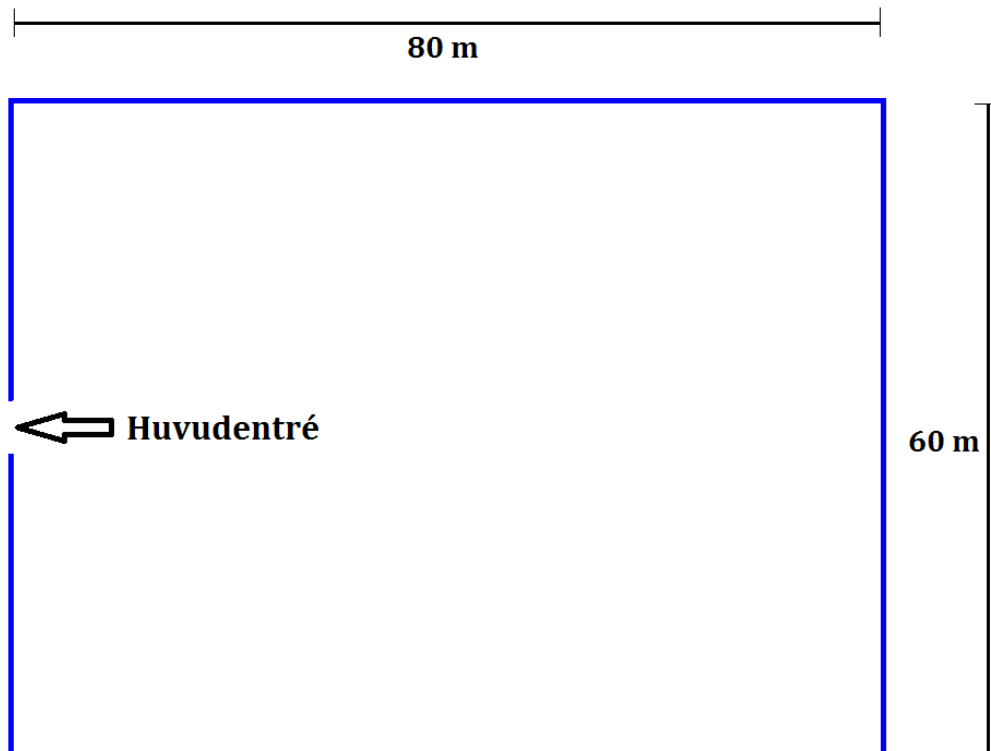
Analysen avgränsas till att endast behandla en del av byggnaden. Denna del utgörs av en publik samlingslokal i markplan i förminskat format jämfört med den verkliga samlingslokalen. Anledningen till detta är att det ger större möjligheter att dimensionera lokalen både förenklad och analytiskt utan att i alltför stor utsträckning glida ifrån från vad som är genomförbart i praktiken.

Brandbelastningen i lokalen antas av författarna till denna rapport inte överstiga 800 MJ/m², vilket enligt BBR 19, avsnitt 5:561, innebär att krav på brandsektionering enligt figur 7.1 måste tillmötesgå i det förenklade utförandet.

Skyddssystem	Maximal storlek (nettoarea*) på brandsektion vid brandbelastning f (MJ/m ²)	
	$f \leq 800$	$f > 800$
Inget automatiskt brandlarm eller automatiskt släcksystem	2 500 m ²	1 250 m ²
Automatiskt brandlarm	5 000 m ²	2 500 m ²
Automatisk vattensprinkler-anläggning	Obegränsad	Obegränsad

Figur 7.1 – Brandsektioneringskrav enligt BBR 19 kopplat till brandbelastning, aktuellt fall markerat med rött.

Den lokal som används som utgångspunkt, innan några justeringar gjorts illustreras i figur 7.2.



Figur 7.2 – Översiktsbild över den aktuella lokalen.

Samlingslokalen som används i den jämförande analysen är till största delen fiktiv. Den befintliga byggnaden fyller en funktion som inspirationskälla samt referenspunkt för att inga orealistiska värden sätts på parametrar som persontäthet, geometri och takhöjd.

Det dimensionerande personantalet för den förminskade samlingslokalen blir, med liknande persontäthet som i den befintliga byggnaden, 0,17 personer per kvadratmeter. Persontäthetsfaktorn väljs som något högre då en del icke-publika utrymmen utgör grunden för motsvarande faktor i den befintliga byggnaden.

Lokalens takhöjd sätts till 4,5 meter. Detta är en höjning av den befintliga takhöjden med 1,5 meter. Detta görs då höjden 3 meter anses som något låg för att kunna dimensionera byggnaden analytiskt. En känslighetsanalys på takhöjden 3 meter görs i *kapitel 9*, och ett utförligare resonemang kring takhöjdens inverkan förs i *avsnitt 10.3*. Relevant data för lokalen finns samlad i *tabell 7.1*.

Tabell 7.1 – Data för den aktuella lokalen.

Parameter	
Längd	80 m
Bredd	60 m
Golvarea	4800 m ²
Takhöjd	4,5 m
Entrédörrsbredd	2 m
Byggnadsklass	Br 1
Verksamhetsklass	2B
Persontäthetsfaktor	0,17 personer/m ²
Brandbelastning	≤ 800 MJ/m ²

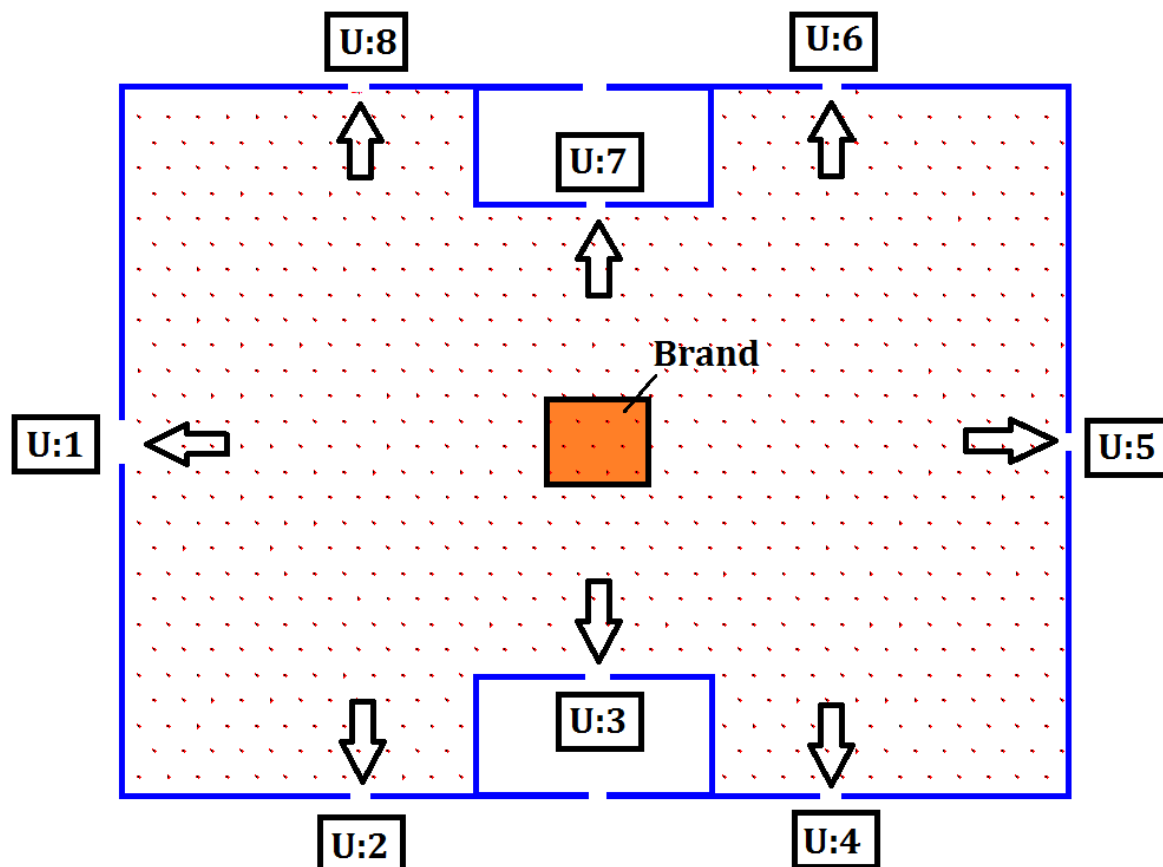
7.1.2 Utformning enligt förenklad dimensionering

Med utgångspunkt från lokalens geometri har en förenklad dimensionering av brandskyddet gjorts där de allmänna råden i BBR 19 har följts till punkt och pricka. Det är endast de byggnadstekniska lösningar som berör utrymningssäkerheten som har beaktats i enighet med rapportens avgränsningar, se *avsnitt 1.4*. Ingen hänsyn till exempelvis brandspridning mellan byggnader eller räddningstjänstens möjlighet till insats har tagits. Relevanta förutsättningar i det förenklade utförandet listas i *tabell 7.2*.

Tabell 7.2 – Förutsättningar för den förenklade dimensionerade lokalen.

Förutsättningar	
Antal utrymningsvägar	8 st
Antal brandceller	3 st
Dimensionerande personantal i samlingslokal	$0,17 * 4400 = 748 \approx 750$ st
Tekniska system	Automatiskt brandlarmsystem

Det slutliga utförandet av lokalen enligt förenklad dimensionering illustreras i *figur 7.3*. Det dimensionerande personantalet, 750 personer, är utplacerat, liksom brandens placering samt utrymningsvägarna, U:1-U:8.



Figur 7.3 – Slutligt utförande av lokalen enligt förenklad dimensionering.

Utrymningsvägarnas bredder framgår av *tabell 7.3*

Tabell 7.3 – Utrymningsvägarnas bredder.

Utrymningsväg	Bredd [m]
U:1 (Entrédörr)	2,0
U:2-U:8	0,9

Då den jämförande analysen är av relativ karaktär behöver endast de allmänna råd som kommer skilja sig åt mellan de olika utförandena uppmärksammas här. Vid utförandet enligt förenklad dimensionering rör det sig om följande allmänna råd:

- Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:331: Gångavstånd till utrymningsväg bör ej överstiga 30 meter.**
 Detta råd uppfylls genom att åtta utrymningsvägar placeras ut och en brandcellssektionering görs enligt *figur 7.3*. De två mindre sektionerna i *figur 7.3* utgörs av utrymmen med 2 meters takhöjd. Med denna placering blir det maximala gångavståndet till en utrymningsväg 30 meter, om beräkningen sker på det sätt som föreskrivs i BBR 19, avsnitt 5:331.
- Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:334: Dörrbredd i dörrar som betjänar mer än 150 personer bör ej understiga 1,2 meter.**
 750 personer fördelat på åtta utrymningsvägar innebär: $\frac{750}{8} = 93,75 \approx 94$

personer per dörr. Detta innebär att dessa utrymningsvägar inte behöver vara 1,2 meter breda.

- **Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:334: Total bredd i alla utrymningsvägar bör vara så stor att det motsvarar 1 meter per 150 personer.**

För att uppfylla detta råd behövs en total bredd på $\frac{750}{150} = 5$ meter. Total bredd är:
 $2 + (7 * 0,9) = 8,3$ meter och således är detta råd uppfyllt.

7.1.3 Utformning enligt analytisk dimensionering

De brandtekniska lösningarna som valts vid den analytiska dimensioneringen skiljer sig på en del punkter från de som används i den förenklade dimensioneringen. Den största skillnaden är att lokalen förses med ett automatiskt släcksystem i form av vattensprinkler. Vad ett sådant system innebär i form av påverkan på ett tänkt brandförlopp beskrivs i *avsnitt 7.2.1.1.2* Installation av sprinklersystem gör det möjligt att göra avsteg från de allmänna råden och ändå befinna sig inom ramen för förenklad dimensionering. Om antalet sådana avsteg är fler än två, vilket är fallet i denna analys, måste dock analytisk dimensionering tillämpas, enligt vad som står i BBR 19 rörande detta, se *avsnitt 3.4.1*.

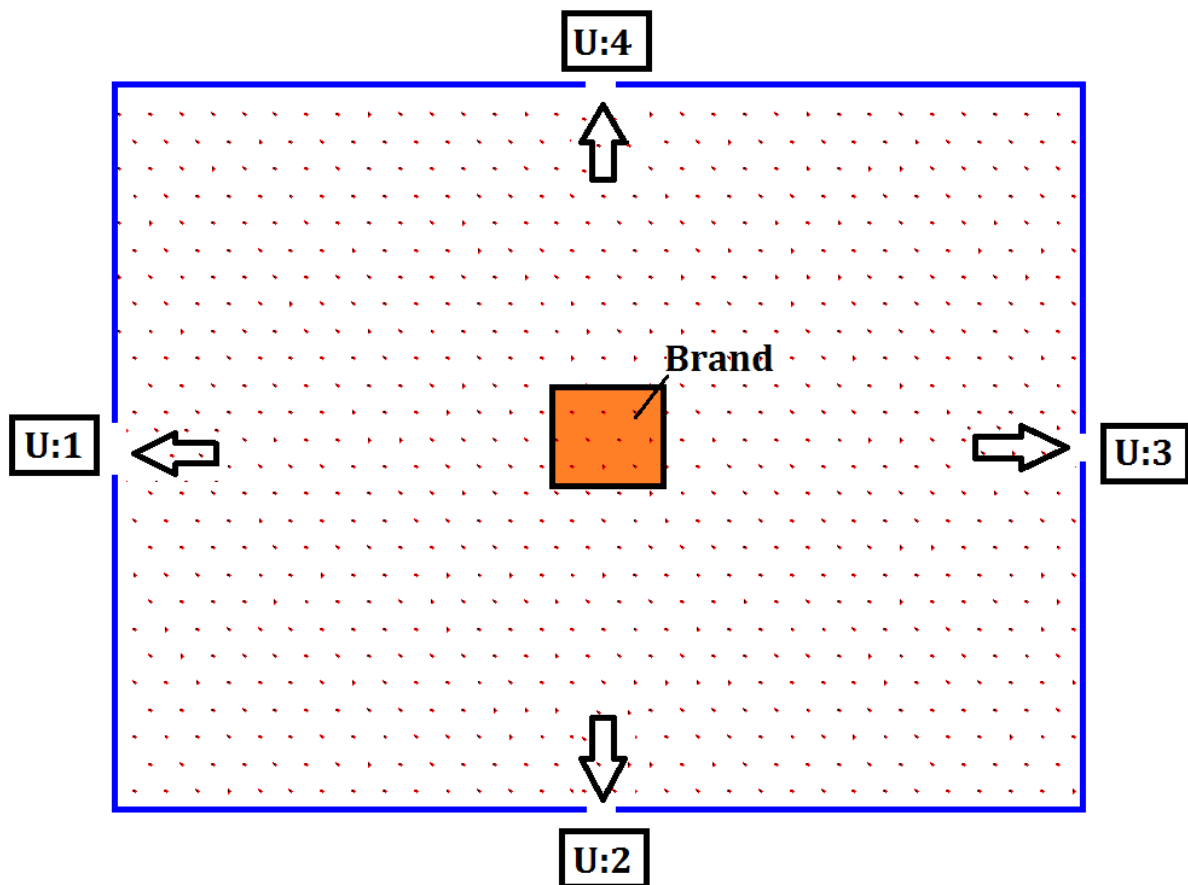
Den analytiskt dimensionerade utformningen är framtagen genom att tillgänglig tid har prövats mot tid för utrymning och därmed har ett tidskriterium tagits fram. Detta är nödvändigt för att kunna dimensionera utifrån de allmänna råden i BBRAD. I *avsnitt 7.3* nedan beskrivs detta förfarande mer detaljerat.

Relevanta förutsättningar i det analytiska utförandet listas i *tabell 7.4*.

Tabell 7.4 - Förutsättningar för den analytiskt dimensionerade lokalen.

Förutsättningar	
Antal utrymningsvägar	4 st
Antal brandceller	1 st
Dimensionerande personantal i samlingslokalen	$0,17 * 4800 = 816 \approx 800$ st
Tekniska system	Automatiskt brandlarmsystem och sprinklersystem

Det slutliga utförandet enligt analytisk dimensionering illustreras i *figur 7.4*. Det dimensionerande personantalet, 800 personer, är utplacerat, liksom brandens placering samt utrymningsvägarna, U:1-U:4.



Figur 7.4 – Slutligt utförande av lokalen enligt analytisk dimensionering.

Utrymningsvägarnas bredder framgår av *tabell 7.5*.

Tabell 7.5 – Utrymningsvägarnas bredder.

Utrymningsväg	Bredd [m]
U:1 (Entrédörr)	2,0
U:2-U:4	0,9

Med detta utförande görs totalt tre avsteg rörande utrymningsdimensionering, vilka listas nedan:

- **Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:331: Gångavstånd till utrymningsväg bör ej överstiga 30 meter.**
Detta allmänna råd frångås genom att ett mindre antal utrymningsvägar placeras ut och att ingen brandcellssektionering görs. Det maximala gångavståndet med denna utformning uppgår i värsta fall till över 30 meter, om beräkningen sker på det sätt som förskrivs i BBR 19, avsnitt 5:331.
- **Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:334: Dörrbredd i dörrar som betjänar mer än 150 personer bör ej understiga 1,2 meter.**
800 personer fördelat på fyra utrymningsvägar innebär: $\frac{800}{4} = 200$ personer per dörr. Detta innebär att dessa utrymningsvägar bör vara minst 1,2 meter breda. Detta råd frångås genom att låta alla utrymningsvägar utom entrédörren vara 0,9 meter breda.
- **Allmänt råd i BBR 19, avsnitt 5:334: Total bredd i alla utrymningsvägar bör vara så stor att det motsvarar 1 meter per 150 personer.**
För att uppfylla detta råd behövs en total bredd på $\frac{800}{150} = 5,33$ meter. Total bredd är: $2 + (3 * 0,9) = 4,7$ meter och således är detta råd frångått.

7.2 Indata

I detta avsnitt beskrivs de indata som används i den jämförande analysen uppdelade på tekniska system, brandscenarier och utrymning.

7.2.1 Brandskyddslösningar

De två utförandena ovan innehåller en del lösningar för brandskydd som är av betydelse för både brand- och utrymningsförloppet. En uppdelning av de aktuella brandskyddslösningarna kan göras i tekniska system och utrymningsvägar. Eventuellt organisatoriskt brandskydd behandlas ej. Nedan ges en beskrivning av de olika lösningarna som av författarna till denna rapport väljs ingå i lokalens brandskydd, samt en bedömning av deras förväntade tillförlitlighet.

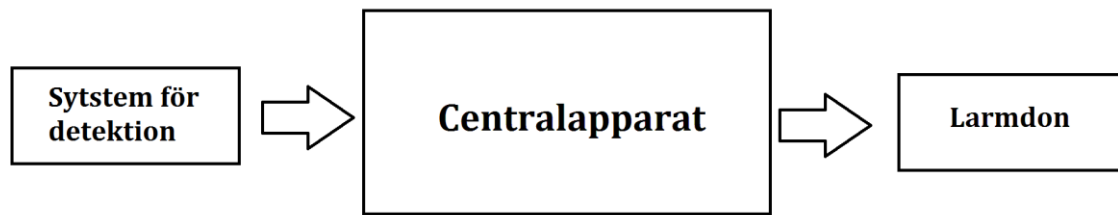
7.2.1.1 Tekniska system

De tekniska system som är aktuella i denna analys är automatisk brandlarmsystem och automatiskt släcksystem i form av vattensprinkler.

7.2.1.1.1 Automatiskt brandlarmsystem

Lokalen antas vara utrustad med ett automatiskt brandlarmsystem både i det förenklade och i det analytiska utförandet. I denna rapport har brandlarmsystemet utformats på ett enkelt sätt, utan funktioner som larmöverföring till räddningstjänsten eller direktkoppling till automatiskt släcksystem. Systemets principiella uppbyggnad

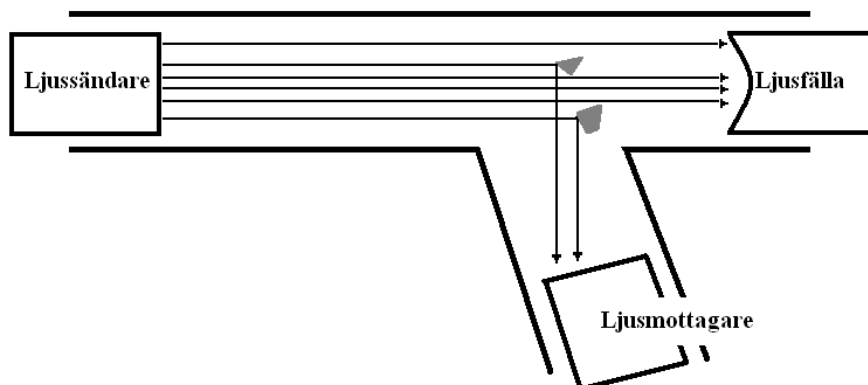
illustreras i *figur 7.5* och nedan ges en beskrivning av de olika ingående delarna.



Figur 7.5 - Det automatiska brandlarmsystemet så som det är definierat i denna rapport.

Centralapparaten utgör kärnan i det automatiska brandlarmsystemet och fungerar som samordnare mellan de olika komponenterna. Centralapparaten erhåller signaler om brand. Detta kan ske automatiskt genom detektorer eller manuellt genom larmknappar.

Det automatiska systemet för detektion i lokalen väljs att bestå av optiska rökdetektorer. Detta är en vanligt förekommande typ av detektor som aktiveras när utsänt ljus inuti detektorn reflekteras mot en ljusmottagare, till följd av att partiklar nått in i detektorn, se *figur 7.6* (Nilsson & Holmstedt, 2008). Enligt de rekommendationer som finns i regelverket SBF 110:6 för optiska rökdetektorer täcker varje detektor en area på cirka 100 kvadratmeter (Svenska Brandförsvarsföreningen, 2001).



Figur 7.6 – Principen för aktivering av en optisk rökdetektor.

Larmdon kan vara av olika typer. En vanlig indelning är ljud- eller ljusgenererande larmdon (Nilsson & Holmstedt, 2008). I denna lokal ansätts larmdonet att bestå av ett utrymningslarm i form av ett enkelt talat meddelande. Detta utrymningslarm aktiveras genom signal från centralapparaten.

När det kommer till att bedöma tillförlitligheten hos ett brandlarmsystem är detta starkt avhängigt av hur brandlarmsystemet är utformat. En omfattande studie av olika rapporter inom ämnet har gjorts av författarna till denna rapport, vilket lett till slutsatsen att en sådan tillförlitlighetsanalys kan göras med kraftigt varierande detaljeringsgrad och att det statistiska underlaget i de allra flesta fall är mycket begränsat.

Johansson (1999) har sammanställt material från olika källor rörande felfunktion för olika kategorier av tekniska system. När det kommer till rökdetektorer anges

felfrekvensen till 0,1, det vill säga tillförlitligheten anges till 90 procent. Johansson understryker att tillgången på information inom området varit begränsad och att siffran inte ska ses som någon strikt regel, utan snarare som ett hjälpmedel vid tillförlitlighetsbedömningar. Rökdetektorerna utgör den upptäckande och brandlarmsystemsaktiverande komponenten, vilket innebär att felfrekvensen för detektorerna fortplantas in i brandlarmsystemet. Där kan denna frekvens sedan ökas, genom att hänsyn tas till signalfel och liknande mellan de olika komponenterna. Med den utformningen av brandlarmsystemet som används i denna rapport handlar sådana fel om signalfel mellan detektor och centralapparat, samt mellan centralapparat och utrymningslarm. Oavsett orsak till felfunktion så blir effekten av att brandlarmsystemet felfungerar att utrymningslarmet inte ljuder, vilket kommer förlänga utrymningstiden.

Nyysönen, Rajakko och Keski-Rahkonen (2005) har studerat ett omfattande material av förväntad tillförlitlighet hos olika brandlarmsystem. Bland annat lyfts en japansk studie fram, där ett felträd med hög detaljeringsgrad presenteras. I trädet vägs det in faktorer som exempelvis detektionsfel, installationsfel och strömförsörjningsfel. Den resulterande förväntade felfrekvensen för hela brandlarmsystemet bestäms till 11 %, vilket ligger i samma storleksordning som det värde Johansson (1999) fått fram för felfrekvensen för rökdetektorer.

Felfrekvensen som används i denna rapport baseras på vad som gått att finna vid litteratursökningen och sätts till tio procent. Det ska återigen understrykas att siffran som används inte på något sätt ska ses som någon strikt regel utan som en indikation på vilket felfrekvensområde ett enkelt brandlarmsystem kan tänkas befinna sig i.

I dimensioneringen används datorprogrammet Detact T2 för att bestämma aktiveringstid för en optisk rökdetektor. Beskrivning av programmet, använd indata samt inbyggda begränsningar finns i *bilaga A* och *bilaga B*.

7.2.1.1.2 Sprinklersystem

Innehållet i detta avsnitt är endast aktuellt för det analytiska utförandet, eftersom lokalen i det förenklade utförandet hålls osprinklad. Sprinklersystemet som installeras i det analytiska utförandet av lokalen ansätts till att ha egenskaper enligt vad som anges i sprinklerstandarden, SS EN-12845:2004+A2:2009 (Swedish Standards Institute, 2010). Detta redovisas i *tabell 7.8* nedan.

Tabell 7.8 – Egenskaper för sprinklersystemet i det analytiska utförandet.

Parameter	
Aktiveringstemperatur	68 °C
RTI-värde	50 m/ s ²
Typ	ERFS-sprinkler
Verkningsyta	12 m ²

I BBRAD finns det numera detaljerat beskrivet hur ett sprinklersystem påverkar brandförloppet. I ett avsnitt med namnet *Påverkan av automatiska släcksystem* står det att läsa:

”Om effektutvecklingen vid aktivering av en automatisk vattensprinkleranläggning eller boendesprinkler är högst 5,0 MW kan effektutvecklingen reduceras enligt följande:

- *Efter sprinkleraktivering hålls effektutvecklingen konstant under 1 minut.*
- *Därefter minskar effektutvecklingen till 1/3 av effekten vid tidpunkten för aktivering. Denna minskning sker under den påföljande minuten.*
- *Effektutvecklingen hålls sedan konstant på denna nivå.*

Om brandens effektutveckling vid sprinkleraktivering är större än 5,0 MW bör effektutvecklingen antas vara konstant efter sprinkleraktivering.”

Det är också ovan beskrivna sprinklerpåverkan som används i denna rapport.

I en rapport från 2008, utfört av Malm och Pettersson, studeras svensk insatsstatistik för åren 2006-2007 med syftet att utreda tillförlitligheten hos svenska sprinklersystem. Underlaget till studien samlades in från avdelningen för Nationellt centrum för lärande från olyckor vid dåvarande Räddningsverket. Detta underlag bestod av insatsrapporter från landets alla räddningstjänster, med undantag för ett fåtal (mindre än en procent) av alla kommuner. Underlaget har sedan bearbetats så att det innefattar:

- Incidenter där släckmedlet varit vatten
- Incidenter där sprinklersystemet varit heltäckande och ej fungerat som punktskydd
- Incidenter där en brand har lokaliserats

Tillförlitligheten definieras i studien enligt:

$$\text{Tillförlitlighet} = \frac{\text{Antal incidenter som släckte och begränsade}}{\text{Totalt antal incidenter}}$$

Resultatet i studien är en tillförlitlighet på 92 procent för alla byggnader. Motsvarande siffra är 88 procent för allmänna byggnader.

Ovanstående studie anses utgöra ett grundligt utfört och väl genomarbetat underlag för tillförlitlighet hos sprinkler. Således används dessa värden som underlag för antagen tillförlitlighet för sprinklersystemet i denna rapport. Detta sker genom en viktning av ovan nämnda resultaten från studien enligt:

$$\frac{92 + 88}{2} = 90 \%$$

Återigen används datorprogrammet Detact T2 för att bestämma aktiveringstid för sprinklersystemet. Beskrivning av programmet, använd indata samt inbyggda begränsningar finns i *bilaga A* och *bilaga B*.

7.2.1.2 Utrymningsvägar

Antalet utrymningsvägar och dess placering i en byggnad är parametrar som har stor inverkan på hur utrymningsförloppet fortskrider. Utrymningsvägarna är således viktiga delar i det byggnadstekniska brandskyddet som tillsammans med andra lösningar bestämmer vilken nivå på säkerheten som byggnaden uppfyller. När alla tänkta utrymningsvägar är tillgängliga ska de personer som vistas i byggnaden hinna slutföra en utrymning, förutsatt att byggnadens brandskydd är projekterat efter givna föreskrifter (Boverket 2, 2011).

Det finns dock alltid en risk att en eller flera utrymningsvägar i en byggnad kan vara blockerade eller otillgängliga av olika orsaker, vilket kan förlänga den totala utrymningstiden. Anledningar som kan medföra att en utrymningsväg är otillgänglig kan exempelvis vara att de är låsta eller att en brands uppkomst resulterar i en blockerad utrymningsväg.

För att ta hänsyn till att en blockerad utrymningsväg kan innebära större köbildning och högre persontäthet vid övriga utrymningsvägar finns det i BBR 19, avsnitt 5:334 ett allmänt råd som beaktar detta:

"Om en av utrymningsvägarna blockeras bör de övriga ha sådan bredd att 1,00 meter motsvarar 300 personer."

Anledningen till detta är att byggnadens säkerhetsnivå inte ska bli oacceptabel trots att en utrymningsväg är blockerad. På så sätt tas det i beaktning vid projekteringen att delar av det byggnadstekniska brandskyddet kan tas ur funktion utan att den acceptabla säkerhetsnivån underskrids. Denna bredd uppfylls i båda lokalerna i denna jämförelse, se *tabell 7.6*.

Tabell 7.6 – Erfordrad och tillgänglig bredd för de olika utformningarna.

Utförande	Erfordrad bredd vid en blockerad utrymningsväg [m]	Tillgänglig bredd vid en blockerad utrymningsväg [m]
Förenklad utformning	$\frac{750}{300} = 2,5$	$2 + (6 * 0,9) = 7,4$
Analytisk utformning	$\frac{800}{300} = 2,67$	$2 + (2 * 0,9) = 3,8$

Det finns dock svårigheter med att bestämma sannolikheten för att en eller flera utrymningsvägar är blockerade. Alla lokaler är specifika sett till geometri, verksamhet och organisation. Det är därför i princip omöjligt att bestämma en generell sannolikhet för att en utrymningsväg är blockerad av olika föremål eller är låst. Verksamhetens egna kontroller och säkerhetstänk är avgörande faktorer som är väldigt svåra att kvantifiera med sannolikheter.

I denna rapport beaktas blockering av en utrymningsväg i den jämförande analysen.

Anledningen till detta är att ett sådant scenario anses, av författarna till denna rapport, påverka byggnadens säkerhetsnivå och därför är det en intressant parameter att beakta i den jämförande analysen. Dessutom blir det en viktig omständighet att ta hänsyn till då antalet utrymningsvägar skiljer sig åt mellan de två lokalerna.

För att få till en så rättvis jämförelse som möjligt, görs ett antagande att sannolikheten att en utrymningsväg ska blockeras är proportionell mot antalet utrymningsvägar. Det bortses från entrédörren i detta fall, eftersom det är högst osannolikt att en blockering av denna skulle förbli oupptäckt någon längre stund. Den enda utrymningsväg som då återstår som gemensam för de båda utförandena är utrymningsvägen på kortsidan mitt emot huvudentrén, som har beteckningen U:5 respektive U:3 i *figur 7.3* och *7.4*. Därför är det denna utrymningsväg som görs otillgänglig i denna analys.

Ovanstående resonemang ger sannolikheter för att den aktuella utrymningsvägen blockeras enligt *tabell 7.7*.

Tabell 7.7 – Sannolikhet för en blockerad utrymningsväg för de olika utformningarna.

Utförande	Antal utrymningsvägar utöver entrédörren	Sannolikhet för en blockerad utrymningsväg
Förenklad utformning	7 st	$\frac{1}{7} = 0,14$
Analytisk utformning	3 st	$\frac{1}{3} = 0,33$

7.2.1.3 Sammanfattning av brandskyddslösningarnas tillförlitlighet

En sammanfattning av de olika brandskyddslösningarna med tillhörande, bedömd tillförlitlighet ges i *tabell 7.9*.

Tabell 7.9 – De olika brandskyddslösningarna med tillhörande, bedömd tillförlitlighet.

Brandskyddslösning	Tillförlitlighet [%]
Automatiskt brandlarmsystem	90
Sprinklersystem	90
Alla utrymningsvägar tillgängliga	86 (Förenklad utformning) 67 (Analytisk utformning)

7.2.2 Brandscenarier

I de allmänna råden i BBRAD anges tre olika erforderade brandscenarier vid en analytisk dimensionering. Syftet med de tre brandscenarierna är att de tillsammans ska representera de flesta tänkbara bränder som en byggnad förväntas klara av att hantera vid brand. Dessa brandscenarier ska tillsammans resultera i sådana brandtekniska lösningar att den accepterade säkerhetsnivån på byggnaden uppnås.

I analysen som görs i denna rapport används dock endast brandscenario 1 och 3. Anledningen till detta är att brandscenario 2 utgörs av en brand i ett dolt utrymme när byggnaden som projekteras inte är försedd med ett heltäckande automatiskt brand- och utrymningslarm. Lokalen som analyseras i rapporten saknar kringliggande utrymnen

och antas ha ett heltäckande automatiskt brand- och utrymningslarm vilket innebär att brandscenario 2 inte beaktas i analysen.

En beskrivning av brandscenario 1 så som den är skriven i BBRAD ges nedan:

*”Brandscenario 1 kännetecknas av **ett allvarligt brandförlopp med snabb utveckling och hög brandeffekt, ett troligt värsta fall. Installerade tekniska skyddssystem kan antas fungera som avsett och effekten av dessa kan tillgodoräknas.***

Brandförloppet bör modelleras utifrån följande förutsättningar och specifikationer:

- *Brandförlopp (tillväxthastighet, maximal effektutveckling och produktion av förbränningsprodukter) väljs enligt tabell 5 och 6.*
- ***Automatiskt släcksystem kan påverka brandförloppet enligt avsnittet om Påverkan av automatiska släcksystem.”***

Brandscenario 3 beskrivs enligt:

*”Brandscenario 3 kännetecknas av ett brandförlopp som kan ses som **en mindre påfrestning på byggnadens brandskydd men som utvecklas samtidigt som enskilda tekniska system inte fungerar som avsett.** De tekniska system som var och en för sig bör göras otillgängliga i erfordrat brandscenario 3 är följande:*

- ***Automatiskt brand- och utrymningslarm.***
- ***Automatiskt släcksystem.***
- *Automatisk brandgasventilation eller annat system för begränsning av brand- och brandgasspridning.*
- *Hissar som används för utrymning.*
- *Följdfel bör beaktas om felet innebär att flera system kan slås ut av en händelse, t.ex. om strömförsörjning faller eller om styrsignaler uteblir.*

Brandförloppet bör modelleras utifrån följande förutsättningar och specifikationer:

- *Brandförlopp (tillväxthastighet, maximal effektutveckling och produktion av förbränningsprodukter) väljs enligt tabell 5 och 6.*
- ***Automatiskt släcksystem kan påverka brandförloppet enligt avsnittet om Påverkan av automatiska släcksystem undantaget då släcksystemet görs otillgängligt.”***

För att illustrera den sprinklerpåverkan som beskrivs i avsnitt 7.2.1.3 görs en jämförelse av brandscenario 1 med och utan sprinkleraktivering i *diagram 7.1*.

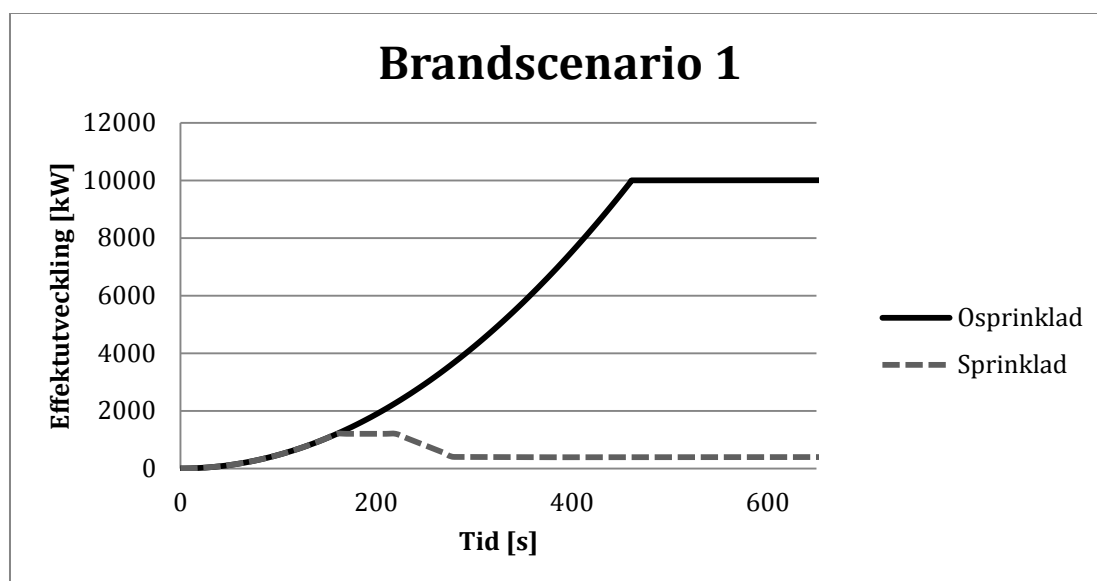


Diagram 7.1 – Brandscenario 1 i BBRAD med och utan sprinklerpåverkan.

De tabeller som omnämns i ovanstående citat (tabell 5 och 6 i BBRAD) innehåller värden på bland annat tillväxthastighet, effektutveckling och sotproduktion. Genom att följa vad som står i de allmänna råden rörande erforderade brandscenarier i BBRAD innebär detta att bränderna som används i den jämförande analysen får egenskaper enligt *tabell 7.10*.

Tabell 7.10 – Brandscenariernas egenskaper enligt BBRAD.

Brandscenario	Tillväxthastighet [kW/s²]	Effektutveckling [MW]	Sotproduktion [g/g]
Brandscenario 1, ej sprinkler	0,047	10	0,06
Brandscenario 1, sprinkler	0,047	Ej specificerat	0,10
Brandscenario 3, ej sprinkler	0,047	2	0,06
Brandscenario 3, sprinkler	0,047	Ej specificerat	0,10

Effektutvecklingen för de sprinklade bränderna kommer tas fram genom datorprogrammet Detact T2, genom att där kontrollera tid till sprinkleraktivering. Den resulterande effektutvecklingen för dessa bränder presenteras i *avsnitt 8.1.2* och *avsnitt 8.2.2*.

Brandscenario 1 och 3 anses av författarna till denna rapport på ett bra sätt täcka in möjliga brandscenarier i den aktuella lokalen. Det finns dessutom gjorda studier som visar att dessa brandscenarier täcker in i storleksordningen 95 – 98 procent av alla bränder (Norén, Bengtsson & Rantatalo, 2012).

Eftersom lokalerna ska jämföras mot varandra med så lika förutsättningar som möjligt används samma brandscenarier i både den förenklat och analytiskt dimensionerade lokalen. Ett utförligare resonemang kring detta förfarande ges i *avsnitt 7.3*. De brandscenarier som blir påverkade av sprinkler är dock givetvis endast aktuella för den analytiskt dimensionerade lokalen.

I dimensioneringen används datorprogrammet FDS för att bestämma tid till kritiska förhållanden samt för att illustrera rökfyllnadsförlopp. Beskrivning av programmet, använd indata samt inbyggda begränsningar finns i *bilaga A* och *bilaga B*.

7.2.3 Utrymning

Total utrymningstid delas normalt upp i tre olika faser (Boverket 3, 2011):

- **Varseblivningstid:** Den tid det tar för en person att upptäcka att något inträffat. Tiden beror i allmänhet på om personer ser branden samt om det finns något automatiskt detektionssystem som kan upptäcka branden.
- **Förberedelsetid:** Den tid det tar för personer att förstå att det brinner, lyssna på eventuella utrymningslarm och påbörja utrymning. Faktorer som bidrar till kortare förberedelsetid är bland annat om det finns något installerat utrymningslarm och hur tydligt utrymningsvägarna är markerade.
- **Förflyttningstid:** Den tid det tar för personer att lämna lokalen från det att de påbörjat utrymningen.

7.2.3.1 Varseblivningstid

Om varseblivningstid står det att läsa följande i BBRAD:

”Varseblivningstiden för personer som ser en brand bör inte vara kortare än 30s. Om byggnaden förses med ett utrymningslarm kan varseblivningstiden för personer som inte ser branden bestämmas utifrån tidpunkten då utrymningslarmet startar.”

I dimensioneringen i denna rapport ansätts varseblivningstiden vara lika med tid till detektion, enligt den utformning på det automatiska brandlarmsystemet som beskrivs i *avsnitt 7.2.1.1*.

I det fall brandlarmsystemet felfungerar blir det svårare att uppskatta varseblivningstiden. Den största svårigheten är att särskilja varseblivningstiden från förberedelsetiden eftersom det inte ges någon signal som uppmärksammar personerna på att någonting har inträffat. Hur detta problem löses i denna analys beskrivs i *avsnitt 8.1.4.1* och *avsnitt 8.1.4.2*.

7.2.3.2 Förberedelsetid

Förberedelsetid väljs enligt BBRAD utifrån verksamhet och om personerna kan förväntas se branden. I *tabell 7.11*, som är ett utdrag från en tabell i BBRAD, visas några exempel på förberedelsetider under olika förutsättningar.

Tabell 7.11 – Förberedelsetid under olika förutsättningar enligt BBRAD.

Verksamhet	Person ser branden	Förberedelsetid [min]
Offentlig miljö, skola, kontor, varuhus, butik	Ja	1
Varuhus, inget larm	Nej	4
Varuhus, ringklocka	Nej	3,5
Varuhus, enkelt talat meddelande	Nej	2
Varuhus, informativt talat meddelande	Nej	1

I denna rapports analys väljs således förberedelsetiden till 2 minuter, då brandlarmsystemets larmdon består av ett enkelt talat meddelande enligt *avsnitt 7.2.1.1*. Vid felfungerande brandlarmsystem ljuder inget larm, och således torde då förberedelsetiden bli 4 minuter enligt *tabell 7.11*.

7.2.3.3 Förflyttningstid

Rörande förflyttningstid står det i BBRAD:

”En analys av möjligheten till utrymning bör innehålla en uppskattning av hur personerna fördelar sig i byggnaden och över de olika utgångarna.”

I denna rapports analys görs en sådan uppskattning med resultatet att drygt hälften av personerna i lokalen förväntas röra sig mot entrédörren. Detta är lokalens huvudingång och troligen kommer de flesta använda denna för utrymning, eftersom personerna i förväg vet var den är belägen, hur den ser och vart den leder.

Här görs dock ett litet avsteg från de allmänna råden i BBRAD. Istället för att använda de ekvationer och gånghastigheter för förflyttningstid som finns beskrivna där, används ett datorprogram för att simulera utrymningsförloppet. Detta anses av författarna till denna rapport ge ett mer realistiskt och överblickbart förlopp, där utrymningsrelaterade fenomen som exempelvis köbildning kan observeras. Avsteget görs dock så litet som möjligt genom att i programmet använda den gånghastighet, 1,5 meter per sekund, som anges som allmänt råd i BBRAD. Det tas hänsyn till att det i publika samlingslokaler kan förväntas vistas personer med nedsatt rörelseförmåga genom att tilldela 1 procent av det totala personantalet i analysen en lägre gånghastighet.

I dimensioneringen används datorprogrammet Simulex för att bestämma förflyttningstiden. Beskrivning av programmet, använd indata samt inbyggda begränsningar finns i *bilaga A* och *bilaga B*.

7.3 Reflektioner kring innehållet i detta kapitel

Lokalen är relativt enkel att anpassa så att den faller inom ramen för förenklad dimensionering. Det är bara att "följa instruktionsboken" och använda de siffrvärden för exempelvis gångavstånd och total dörrbredd som anges som allmänna råd i BBR 19. När lokalen ska anpassas så att den faller inom ramen för de riktlinjer som finns för analytisk dimensionering är "instruktionsboken" betydligt mindre detaljerad, vilket möjliggör ett stort antal olika lösningar. Den lösning som används i denna rapport är bara en av dessa många lösningar, vilket är viktigt att ha i åtanke när arbetets resultat studeras.

De krav som den analytiskt dimensionerade lokalen ska uppfylla enligt BBRAD är att under påfrestning i form av brand möjliggöra för utrymning där ingen utsätts för det som definieras som kritiska förhållanden. I denna rapport ansätts de erforderade brandscenerierna i BBRAD som påfrestningen, under vilken säker utrymning kan ske. Följs det som står i de allmänna råden i BBRAD om brandscenerierna så gäller följande:

- Brandscenario 1 ska klaras, sprinklerpåverkan får tas med.
- Brandscenario 3 ska klaras samtidigt som vart och ett av de tekniska systemen ska göras otillgängligt, ett så kallat robusthetsscenario.

Det måste således konstrueras en lokal som faller utanför ramen för förenklad dimensionering, samtidigt som de erforderade brandscenerierna med ovan beskrivna förutsättningar inte innebär någon fara för de utrymnande personerna. Detta innebär att tid till kritiska förhållanden måste tas fram först (tillgänglig tid), och att tid till utrymning av olika lösningar av den analytiskt dimensionerade lokalen (tidsbehov) får prövas mot denna tillgängliga tid i en itereringsprocess, se *bilaga C*. Tidsbehovet erhålls i sin tur genom att följa de allmänna råden i BBRAD rörande utrymningstidens olika faser.

Här uppstår en avvägningssituation, där den analytiskt dimensionerade lokalen inte ska gynnas av att den är dimensionerad utifrån ovan beskrivna tidskriterium. Att tidskriteriet är uppfyllt är dock baserat på att sprinklersystemet fungerar som det ska i brandscenario 1 och att endast ett system felfungerar i brandscenario 3. Genom

händelseträdmotodiken tas emellertid alla möjliga utfall med, genom att kombinationer av olika systems felfunktion tas med i slutresultatet. Scenarioanalysen, med olika parametervärden specificerade enligt BBRAD, kompletteras alltså i denna rapport med en kvantitativ riskanalys baserad på händelseträdmotodik, vilket torde ge en mer heltäckande bild av resulterande säkerhetsnivå med de olika brandskyddstekniska lösningarna.

Sprinklers påverkan på brandförloppet är ordentligt tilltagen i BBRAD, vilket möjliggör vissa avsteg från förenklad dimensionering när sprinkler installeras. Samtidigt sätts i och med sådana avsteg stor tilltro till att detta tekniska system fungerar som det ska. Vid felfunktion är istället det totala brandskyddet kraftigt försämrat. Genom händelseträdmotodiken tas hänsyn till felfunktion hos ett eller flera tekniska system. Sprinklersystem finns inte installerat i den förenklad dimensionerade lokalen, varför denna inte blir lika känslig för felfungerande tekniska system. Detta faktum anses av författarna till denna rapport kompensera för att den analytiskt dimensionerade lokalen testats mot ett tidskriterium i sådan grad att ett relevant underlag för en jämförande analys erhålls.

Att följa de allmänna råden i BBRAD innebär alltså sammanfattningsvis att lokalen måste dimensioneras utifrån angivna värden på brandscenarier, utrymningsförlopp och kritiska förhållanden. I förenklad dimensionering görs normalt ingen verifiering med sådana ingående parametrar. För att åstadkomma en så rättvis och intressant jämförande analys som möjligt används dock BBRAD-parametrarna även i den förenklade dimensioneringen i denna rapport.

När det kommer till blockerade utrymningsvägar skulle en sannolikhet för att en brand blockerar en utrymningsväg kunna beräknas. Detta genom att bestämma inom vilket område runt en utrymningsväg som en brand omöjliggör utrymning med avseende på brandens strålning samt att den helt enkelt utgör ett hinder för de utrymmande personerna. En sådan beräkning bygger dock på att uppkomsten av brand är lika sannolik i hela lokalen, vilket kanske inte är ett helt rimligt påstående för de flesta verksamheter.

I så stor utsträckning som möjligt har det i denna rapport eftersträvat objektiva sannolikheter genom att exempelvis använda tillgänglig statistik. I en del fall har dock det statistiska underlaget varit begränsat. Det måste här understrykas att de siffervärden som används rörande felfunktion hos olika system inte ska ses som absolut objektiva. Någonstans ligger ofta någons subjektiva bedömningar som grund för framtagandet av sådana siffervärden, exempelvis vid val av underlag och metod. En något mildrande omständighet i sammanhanget är dock att en jämförande analys utgör grundbulten i denna rapport. Genom att samma siffervärden används i de fall de förekommer i båda dimensioneringstyperna kan en del osäkerheter kortas bort, se *avsnitt 5.2.2*.

8 Resultat

I detta kapitel presenteras resultat från gjorda simuleringar som utgör underlaget i den jämförande analysen. Resultaten delas upp efter förenklad respektive analytisk dimensionering.

8.1 Förenklad dimensionering

I detta avsnitt redovisas de resultat som erhållits för den förenklade utformningen av lokalen.

8.1.1 Aktiveringstid

Som ett första steg måste en aktiveringstid bestämmas för att få ett tidsmått på hur långt in i brandförloppet det automatiska brandlarmsystemet sätts igång. För att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorerna i lokalen har programmet DETACT T2 använts.

Aktiveringstiden för rökdetektorerna redovisas i *tabell 8.1*. Resultaten från beräkningarna redovisas i sin helhet i *bilaga D* och indata till programmet i *bilaga B*. Aktiveringstiden är giltig för alla brandscenarier eftersom alla bränder tillväxer med samma hastighet samtidigt som aktiveringen sker innan någon brand har nått sin maximala effektutveckling, se *avsnitt 8.1.2*.

Tabell 8.1 – Aktiveringstid för rökdetektor.

Typ	Aktiveringstid [s]
Rökdetektor	80

8.1.2 Brandscenarier

De två olika brandscenarierna som används i simuleringarna för den förenklade dimensionerade lokalen presenteras i avsnitt 7.2.2 och illustreras i *diagram 8.1*.

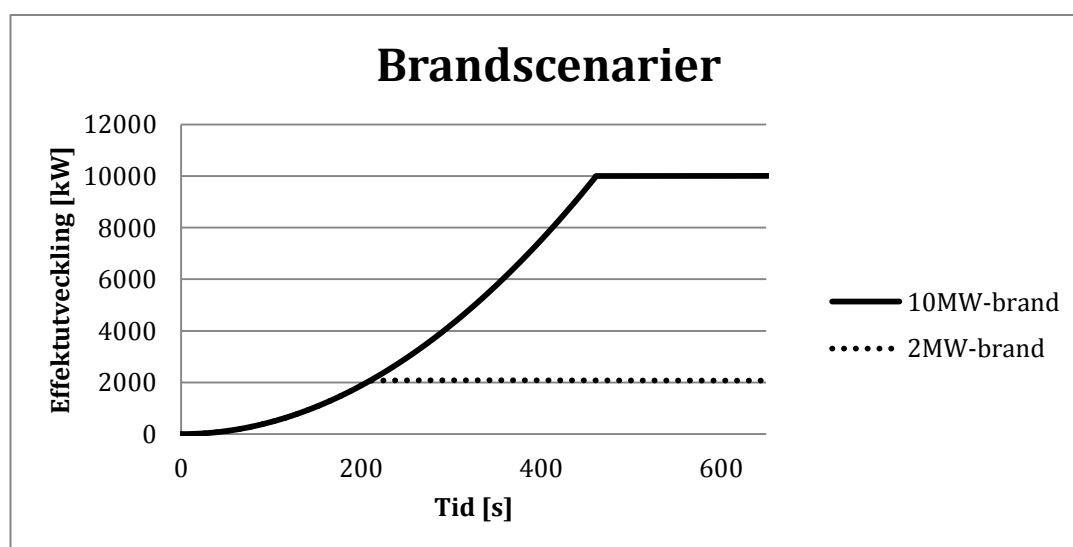


Diagram 8.1 – De två brandscenarierna för den förenklade dimensionerade lokalen.

De två olika brandförloppen har, som illustreras i *diagram 8.1*, samma tillväxthastighet vilket innebär att de får identiska utseenden fram till det att 2 MW-branden når sin maximala effektutveckling efter cirka 200 sekunder och därefter blir konstant. I *tabell 8.2* redovisas brändernas egenskaper och de benämningar som används fortsättningsvis.

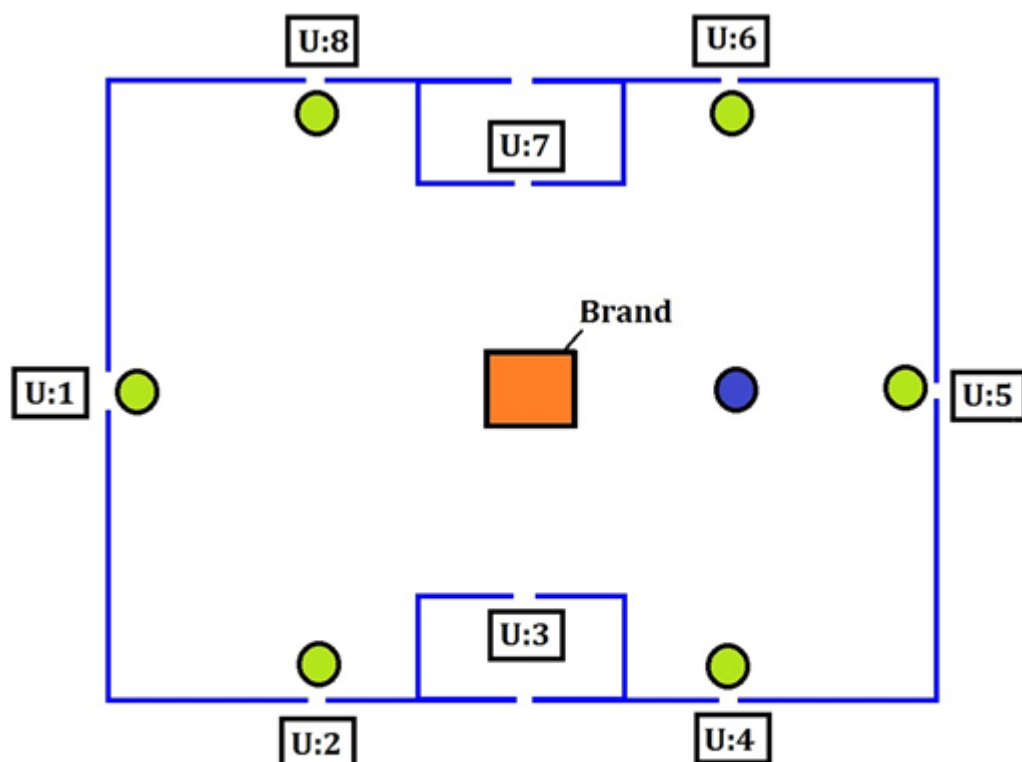
Tabell 8.2 – Brändernas egenskaper och deras benämningar.

Brandscenario, benämning enligt BBRAD	Effektutveckling [MW]	Tillväxthastighet [kW/s²]	Brandscenario, ny benämning
Brandscenario 1, ej sprinkler	10	0,047	10 MW-brand
Brandscenario 3, ej sprinkler	2	0,047	2 MW-brand

8.1.3 Tid till kritiska förhållanden

Tiden till det att kritiska förhållanden uppstår i lokalen har tagits fram med hjälp av simuleringar gjorda i programmet FDS, se *avsnitt 7.2.2*. De två brandförloppen har simulerats i 600 sekunder. Detta eftersom räddningstjänsten antas vara på plats vid denna tid och kontrollerar därefter brandförloppet.

En mängd olika mätpunkter har på olika höjder placerats ut i lokalen, se *figur 8.1*, för att kontinuerligt analysera hur miljön i lokalen förändras med tiden. Parametrar som analyserats i simuleringarna är temperatur, sikt, toxicitet och brandgaslagrets höjd. Eftersom mätningar är gjorda på flera olika platser i lokalen kommer kritiska förhållanden uppstå vid olika tidpunkter. Vid de mätpunkter som är placerade nära branden kommer kritiska förhållanden att uppstå tidigare än vid de mätpunkter som är placerade längre bort. Vidare har inga mätningar gjorts i direkt närhet av branden eftersom kritiska förhållanden uppstår väldigt snabbt i denna region.



- : Mätpunkter för sikt, temperatur och koldioxid på 2m höjd
- : Mätpunkt för sikt, tryck, temperatur, syrgaskoncentration och koldioxid på 2m höjd

Figur 8.1 – Mätpunkternas placering i lokalen.

8.1.3.1 Brandgaslagrets höjd

Enligt tidigare resonemang, se *avsnitt 6.2*, är brandgaslagrets höjd ensamt inte tillräckligt för att kritiska förhållanden ska råda. Även siktbarheten måste samtidigt vara kritisk, det vill säga mindre än 10 meter. Enligt kriterierna i BBRAD ska ett sådant sikt-kritiskt brandgaslager ej understiga den kritiska höjd som erhålls ur ekvation 8.1.

$$1,6 + (4,5 * 0,1) = 2,05 \approx 2 \text{ meter} \quad (8.1)$$

Tiden till det att brandgaslagrets höjd befinner sig på en kritisk höjd, 2 meter, redovisas i *tabell 8.3* och baseras på visuella observationer från de två simuleringarna, se *bilaga D*. Detta inträffar tidigt in brandförloppen i simuleringarna men blir inte det dimensionerande kriteriet eftersom siktbarheten vid denna tid fortfarande är accepterad, se följande avsnitt.

Tabell 8.3 – Tiden till det att brandgaslagrets höjd befinner sig på en kritisk nivå.

Brandscenario	Tid till kritisk höjd [s]
10 MW-brand	280
2 MW-brand	300

8.1.3.2 Siktbarhet

Tiden till det att sikten i lokalen, på 2 meters höjd över golvet, understiger 10 meter för de olika simuleringarna redovisas i *tabell 8.4* till *8.5*. Sikten har uppmätts vid varje utrymningsväg enligt *figur 8.1*. I *bilaga D* redovisas diagram över siktförhållanden genom hela brandförloppet från de olika simuleringarna.

Tabell 8.4 – Tiden till det att siktbarheten blir kritisk, 10 MW-brand.

10 MW-brand	
Utgång	Tid till kritisk sikt < 10 m [s]
U:1	370
U:2	360
U:4	340
U:5	390
U:6	360
U:8	360

Tabell 8.5 - Tiden till det att siktbarheten blir kritisk, 2 MW-brand.

2 MW-brand	
Utgång	Tid till kritisk sikt < 10 m [s]
U:1	470
U:2	480
U:4	480
U:5	470
U:6	480
U:8	480

8.1.3.3 Temperatur

Enligt *avsnitt 6.2* är den kritiska temperaturen för utrymning 80 °C. Temperaturen har mätts vid varje utgång på 2 meters höjd i de två simuleringarna och resultaten visar att temperaturen aldrig överstiger 80 °C vid någon mätpunkt. I *bilaga D* redovisas hur temperaturen förändras under brandförloppet i de olika simuleringarna för de olika mätpunkterna.

8.1.3.4 Värmestrålning och värmedos

Enligt *avsnitt 6.2* får strålningsnivån inte överstiga 2,5 kW/m² mot de utrymmande personerna. Dessa strålningsnivåer inträffar inte i lokalen under simuleringarna, bortsett från området precis intill branden där strålning sker direkt från flamman. En enkel strålningsberäkning har gjorts från brandgaslagret, se *bilaga D*, som visar att det krävs en temperatur på cirka 200 °C i brandgaserna för att kritisk strålning ska uppstå. Så höga temperaturer uppstår inte i brandgaslagret under simuleringarna.

8.1.3.5 Toxicitet

Enligt *avsnitt 6.2* omfattas toxicitet-kriteriet av kolmonoxid-, koldioxid- och syrgaskoncentrationerna som de utrymmande vistas i. Under simuleringarna har syrgaskoncentrationerna samt koldioxidkoncentrationerna i lokalen kontrollerats. Inga av dessa når kritisk nivå under någon av de två simuleringarna. Diagrammen som visar

detta redovisas i *bilaga D*. Kolmonoxidkoncentrationen har inte kontrollerats eftersom denna vanligtvis når en kritisk nivå senare än koldioxidkoncentrationen.

8.1.4 Tid för utrymning

Den totala utrymningstiden delas in i de tre faserna varseblivnings-, förberedelse- och förflyttningstid enligt *avsnitt 7.2.3*.

8.1.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden ansätts till att vara lika med tiden till det att en optisk rökdetektor i lokalen upptäcker branden och aktiverar brandlarmsystemet. Tiden till detektoraktivering blir cirka 80 sekunder, se *avsnitt 8.1.1*. I och med att detta är i ett skede innan brandscenarierna börjar skilja sig åt, se *diagram 8.1*, så blir denna varseblivningstid gällande för båda brandscenarierna, förutsatt att brandlarmsystemet fungerar som det ska.

I händelse av felfunktion hos brandlarmsystemet måste en ny varseblivningstid uppskattas. En sådan bedömning grundas på personernas förmåga att genom olika sinnesintryck förstå att något har hänt. Det kan här bli svårt att särskilja varseblivningstid från förberedelsetid, eftersom personerna i lokalen inte får någon signal som uppmärksammar dem på att något inträffat. En kombinerad varse- och förberedelsetid bestäms istället, se nästföljande avsnitt.

8.1.4.2 Förberedelsetid

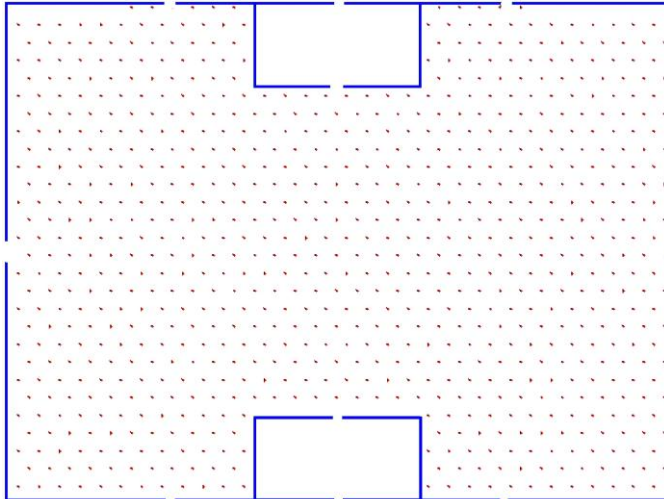
Branden antas förvisso vara placerad mitt i lokalen, men det kan inte uteslutas att synfältet för en del personer är blockerat av exempelvis inredning i varuhuset. Med detta i åtanke anses det av författarna till denna rapport vara konservativt att anta att personerna inte förväntas se branden.

Enligt *tabell 7.11*, *avsnitt 7.2.3.2*, kan förberedelsetiden sättas till två minuter för ett varuhus med ett enkelt talat meddelande då personerna inte ser branden.

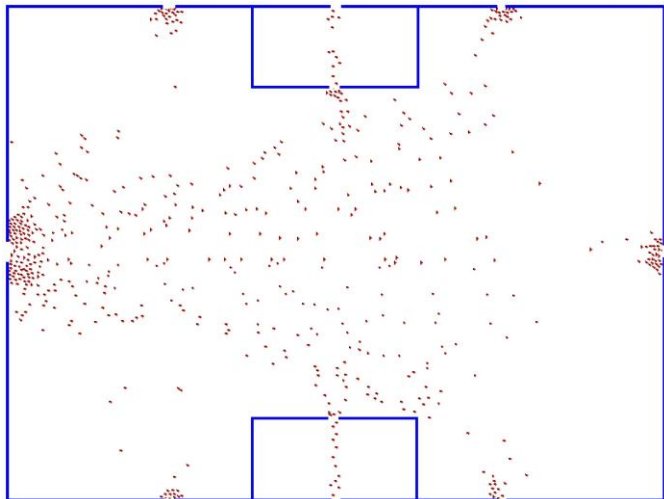
I händelse av felfunktion hos brandlarmsystemet ljuder inget utrymningslarm. Då kan förberedelsetiden sättas till fyra minuter enligt samma tabell när personerna inte ser branden. Enligt resonemanget i ovanstående stycke tas i detta fall en kombinerad varse- och förberedelsetid fram. Detta görs genom att lägga på en minut på den rekommenderade förberedelsetiden till fem minuter.

8.1.4.3 Förflyttningstid

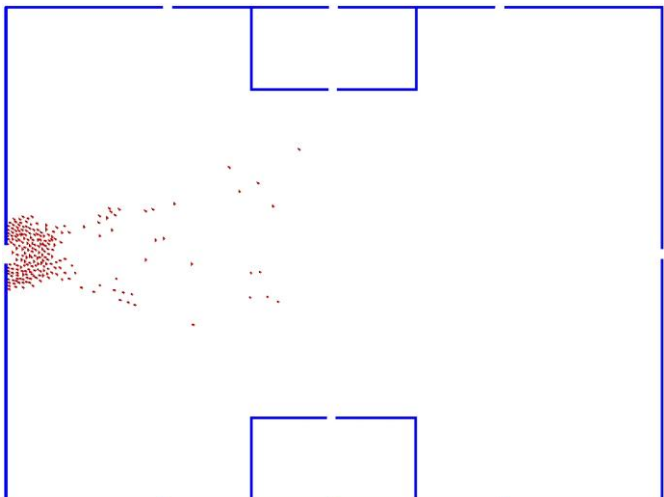
Förflyttningstiden beror starkt på antalet utrymningsvägar och placeringen av dessa. I den förenklat dimensionerade lokalen är antalet utrymningsvägar åtta stycken. I enighet med vad som står i BBRAD innehåller analysen av förflyttningstiden en uppskattning av hur personerna kan tänkas fördela sig över lokalens utgångar. Detta görs genom att låta hälften av lokalens totalt 750 personer röra sig mot lokalens huvudentré, se *avsnitt 7.2.3.3*. Detta ger ett utrymningsförlopp enligt *figur 8.2* till *8.4*. Förflyttningstiden definieras som tiden från det att utrymningen börjar till dess att den siste personen lämnar lokalen. De personer som tilldelats en lägre gånghastighet enligt *avsnitt 7.2.3.3* fångas upp av de köbildningar som uppstår och blir således inte enskilt dimensionerande för utrymningstiden.



Figur 8.2 – Utrymningsförlopp vid start.



Figur 8.3 – Utrymningsförlopp i tidigt skede.



Figur 8.4 – Utrymningsförlopp i senare skede.

En översikt av utrymningsförloppet fördelat på de olika utrymningsvägarna ges i *tabell 8.6*.

Tabell 8.6 – Utrymningstider för de olika utrymningsvägarna.

Utrymningsväg	Tid då siste person passerar [s]
U:1	100
U:2	30
U:3	30
U:4	30
U:5	35
U:6	30
U:7	30
U:8	25

8.1.4.3.1 Blockerad utrymningsväg

Enligt *avsnitt 7.2.1.2* tas det i denna analys hänsyn till att det finns en risk för att utrymningsväg U:5 kan vara otillgänglig av någon anledning. Med denna utgång otillgänglig ser utrymningsförloppet istället ut enligt *tabell 8.7*.

Tabell 8.7 – Utrymningstider för de olika utrymningsvägarna när en utrymningsväg är blockerad.

Utrymningsväg	Tid då siste person passerar [s]
U:1	110
U:2	30
U:3	40
U:4	50
U:5	Blockerad
U:6	50
U:7	40
U:8	25

8.2 Analytisk dimensionering

I detta avsnitt redovisas de resultat som erhållits för den analytiska utformningen av lokalen.

8.2.1 Aktiveringstid

Aktiveringstiden för rökdetektorerna sker på samma sätt som i den förenklade dimensioneringen, se *avsnitt 8.1.1*. I det analytiska utförandet måste dessutom aktiveringstiden för sprinklersystemet bestämmas. Detta görs med samma tillvägagångssätt som för rökdetektorerna. De olika aktiveringstiderna presenteras i *tabell 8.8*. Resultaten från beräkningarna redovisas i sin helhet i *bilaga C* och indata till programmet i *bilaga B*. Aktiveringstiderna är giltig för alla brandscenarier eftersom alla bränder tillväxer med samma hastighet samtidigt som aktiveringen sker innan någon brand har nått sin maximala effektutveckling, se *avsnitt 8.2.2*.

Tabell 8.8 - Aktiveringstid för rökdetektor och sprinkler.

Typ	Aktiveringstid [s]
Rökdetektor	80
Sprinkler	160

8.2.2 Brandscenarier

De två olika brandscenarier som används i simuleringarna är samma som i den förenklade dimensioneringen, se *avsnitt 8.1.2*. Genom att det i det analytiska utförandet dessutom ska tas hänsyn till sprinkleraktivering kommer detta resultera i två sprinklerkontrollerade brandscenarier som totalt ger fyra brandscenarier.

Eftersom båda brandscenarier har samma tillväxthastigheter, enligt BBRAD, och sprinkleraktivering sker innan brandscenario 3 når maximal effekt på 2 MW, kommer dessa två sprinklerkontrollerade brandscenarier att bli identiska. Detta betyder att de tidigare fyra brandscenarierna representeras av de tre scenarier som illustreras i *diagram 8.2*.

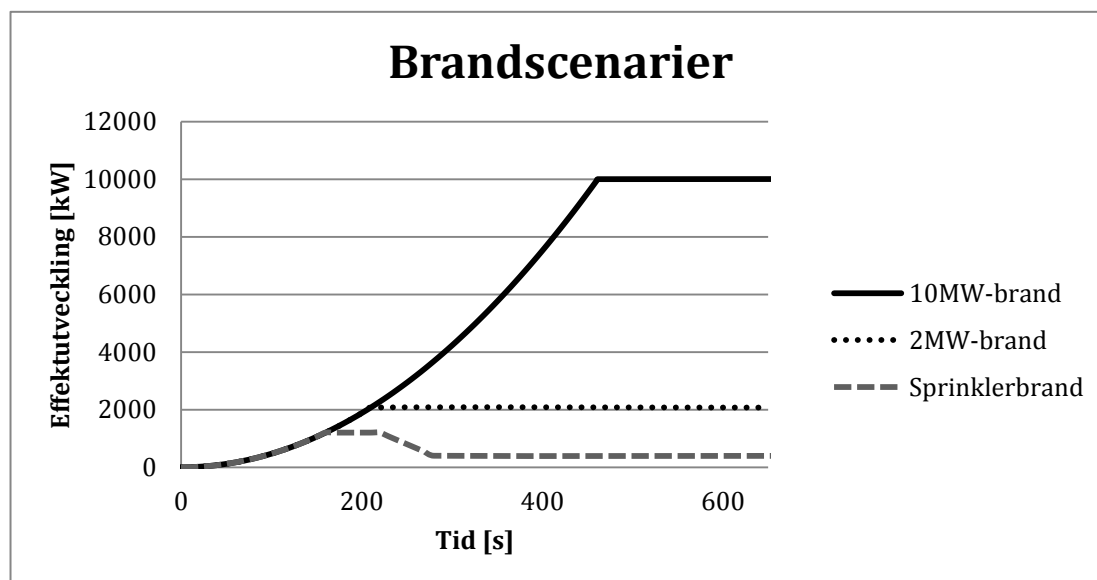


Diagram 8.2 - De tre brandscenarierna för den analytiskt dimensionerade lokalen.

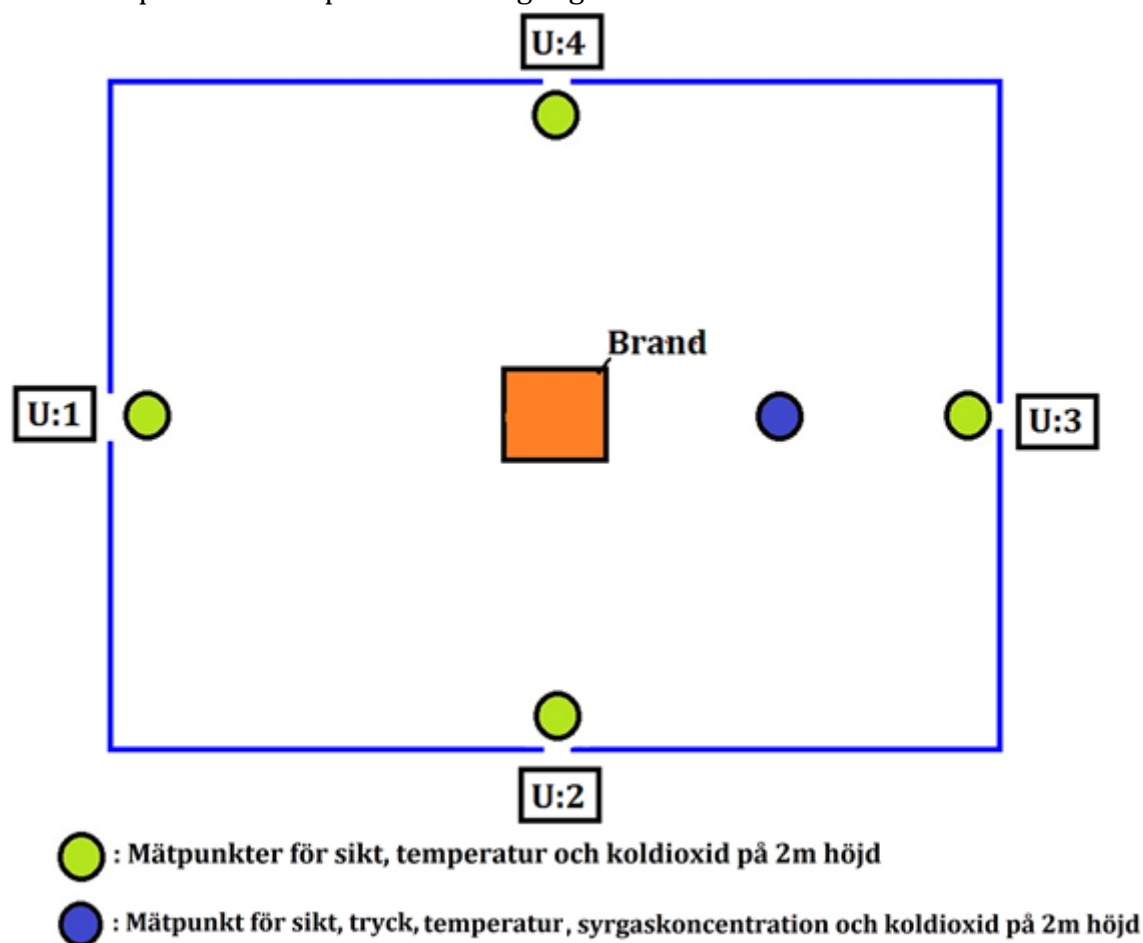
I tabell 8.9 redovisas hur de tidigare fyra brandförloppen, enligt BBRAD, blir till tre olika samt de benämningar som används fortsättningsvis.

Tabell 8.9 - Brändernas egenskaper och deras benämningar.

Brandscenario, benämning enligt BBRAD	Effektutveckling [MW]	Tillväxthastighet [kW/s²]	Brandscenario, ny benämning
Brandscenario 1, ej sprinkler	10	0,047	10 MW-brand
Brandscenario 1, sprinkler	1,2	0,047	Sprinklerbrand
Brandscenario 3, ej sprinkler	2	0,047	2 MW-brand
Brandscenario 3, sprinkler	1,2	0,047	Sprinklerbrand

8.2.3 Tid till kritiska förhållanden

Tiden till kritiska förhållanden bestäms på samma sätt som i det förenklade utförandet, se *avsnitt 8.1.3*. Skillnaden i det analytiska utförandet är att antalet utrymningsvägar är färre. Mätpunkterna är placerade enligt figur 8.5.



Figur 8.5 - Mätpunkternas placering i lokalen.

8.2.3.1 Brandgaslagrets höjd

Tiden till det att brandgaslagret befinner sig på en höjd under 2 meter redovisas i *tabell 8.10*. Precis som i det förenklade utförandet är detta inte tillräckligt för att kritiska förhållanden ska råda, utan detta sker först när brandgaslagret innebär en siktnedsättning på under 10 meter på denna höjd.

Tabell 8.10 - Tiden till det att brandgaslagrets höjd befinner sig på en kritisk nivå.

Brandscenario	Tid till kritisk höjd [s]
10 MW-brand	280
2 MW-brand	300
Sprinklerbrand	330

8.2.3.2 Siktbarhet

Tiden till det att sikten i lokalen understiger 10 meter för de olika simuleringarna redovisas i *tabell 8.11* till *8.13*. Sikten har uppmätts vid varje utrymningsväg enligt *figur 8.5*. I *bilaga D* redovisas diagram över siktförhållanden genom hela brandförloppet från de olika simuleringarna

Tabell 8.11 - Tiden till det att siktbarheten blir kritisk, 10 MW-brand.

10 MW-brand	
Utgång	Tid till kritisk sikt < 10 m [s]
U:1	370
U:2	320
U:3	390
U:4	330

Tabell 8.12 - Tiden till det att siktbarheten blir kritisk, 2 MW-brand.

2 MW-brand	
Utgång	Tid till kritisk sikt < 10 m [s]
U:1	470
U:2	380
U:3	470
U:4	380

Tabell 8.13 - Tiden till att siktbarheten blir kritisk, sprinklerbrand.

Sprinklerbrand	
Utgång	Tid till kritisk sikt < 10 m [s]
U:1	510
U:2	380
U:3	520
U:4	380

8.2.3.3 Övriga kriterier

När det kommer till kriterierna temperatur, värmestrålning, värmedos och toxicitet gäller precis samma resonemang som i det förenklade utförandet, se *avsnitt 8.1.3.3* till *8.1.3.5*.

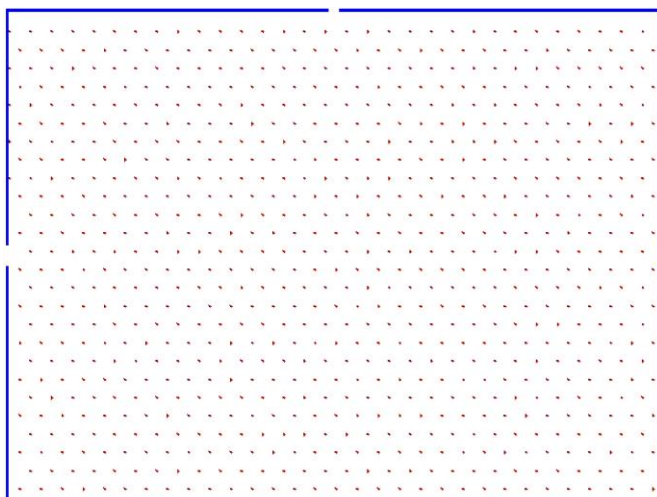
8.2.4 Tid för utrymning

Den totala utrymningstiden delas in i de tre faserna varseblivnings-, förberedelse- och förflyttningstid enligt *avsnitt 7.2.3*. För varseblivnings- och förberedelsestid blir resultaten precis de samma som i det förenklade utförandet, se *avsnitt 8.1.4.1* och *8.1.4.2*.

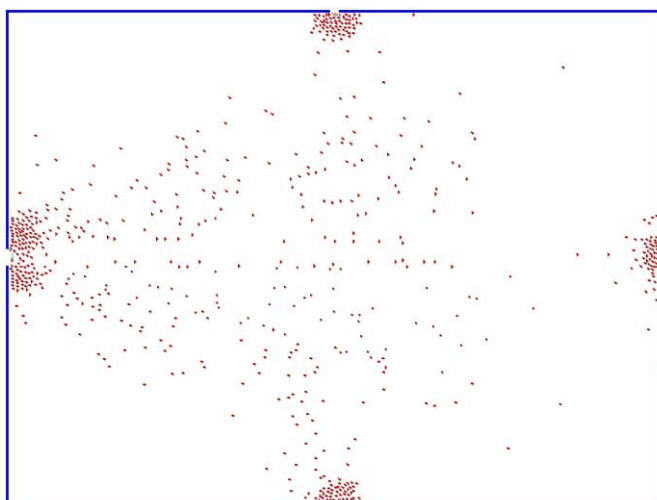
8.2.4.1 Förflyttningstid

Förflyttningstiden beror starkt på antalet utrymningsvägar och placeringen av dessa. I den analytiskt dimensionerade lokalen är antalet utrymningsvägar fyra stycken. I enighet med vad som står i BBRAD innehåller analysen av förflyttningstiden en uppskattning av hur personerna kan tänkas fördela sig över lokalens utgångar. Detta görs genom att låta hälften av lokalens totalt 800 personer röra sig mot lokalens huvudentré, se *avsnitt 7.2.3.3*.

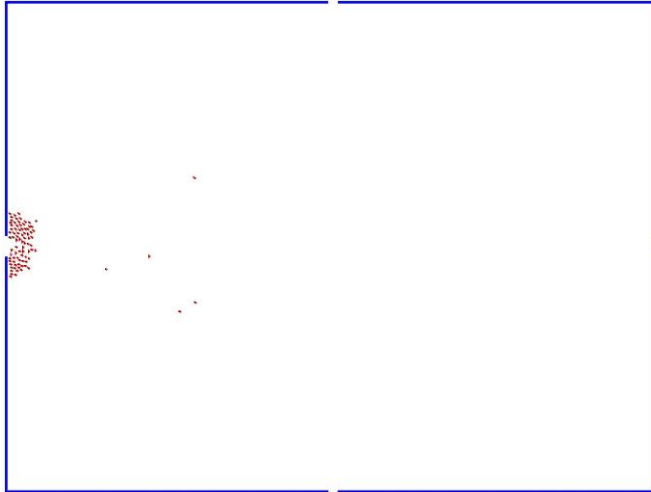
Detta ger ett utrymningsförlopp enligt *figur 8.6* till *8.8*. Förflyttningstiden definieras som tiden från det att utrymningen börjar till dess att den siste personen lämnar lokalen. De personer som tilldelats en lägre gånghastighet enligt *avsnitt 7.2.3.3* fångas upp av de köbildningar som uppstår och blir således inte enskilt dimensionerande för utrymningstiden.



Figur 8.6 – Utrymningsförlopp vid start.



Figur 8.7 – Utrymningsförlopp i tidigt skede.



Figur 8.8 – Utrymningsförlopp i senare skede.

En översikt av utrymningsförloppet fördelat på de olika utrymningsvägarna ges i *tabell 8.14*.

Tabell 8.14 - Utrymningstider för de olika utrymningsvägarna.

<i>Utrymningsväg</i>	<i>Tid då siste person passerar [s]</i>
U:1	112
U:2	50
U:3	65
U:4	55

8.2.4.1.1 Blockerad utrymningsväg

Enligt *avsnitt 7.2.1.2* tas det i denna analys hänsyn till att det finns en risk för att utrymningsväg U:3 kan vara otillgänglig av någon anledning. Med denna utgång otillgänglig ser utrymningsförloppet istället ut enligt *tabell 8.15*.

Tabell 8.15 - Utrymningstider för de olika utrymningsvägarna när en utrymningsväg är blockerad.

<i>Utrymningsväg</i>	<i>Tid då siste person passerar [s]</i>
U:1	120
U:2	70
U:3	Blockerad
U:4	85

9 Analys av resultat

I detta kapitel analyseras de resultat som erhållits i föregående kapitel genom att händelseträdd och F/N-kurvor konstrueras. Vidare görs en känslighetsanalys av hur en sänkt takhöjd inverkar på den jämförande analysen.

9.1 Kritiska punkter

Enligt föregående kapitel är det brandgaslagrets höjd och siktbarheten som tillsammans utgör tiden till kritiska förhållanden. Gränsvärdet för brandgaslagrets höjd är det kriterium som nås först, varför tiden till kritisk siktbarhet blir den dimensionerande tiden. I avsnitt 8.1.3.2 och avsnitt 8.2.3.2 framgår det att tiden till det att kritisk siktbarhet uppstår varierar mellan de olika utrymningsvägarna. Detta beror på utrymningsvägarnas placering i förhållande till branden. I utrymningssimuleringarna, illustrerade i figur 8.2 till 8.4 samt figur 8.6 till 8.8 ses det att det är huvudentrén (utrymningsväg U:1) som blir den dimensionerande utrymningsvägen i båda utförandena då köbildning uppstår här.

Som ett första led i den jämförande analysen görs det en kontroll av tidsmarginalen vid samtliga utrymningsvägar i tabell 9.1 till 9.2. Detta för att studera vid vilka platser personer riskerar att utsättas för kritiska förhållanden i de båda utförandena. Kontrollen görs för det förenklade utförandet endast för 10MW-branden eftersom detta brandscenario innebär den snabbaste tiden till kritisk sikt. Detta prövas i sin tur mot den längsta tänkbara totala utrymningstiden, det vill säga när brandlarmsystemet felfungerar, inget utrymningslarm ljuder och en utrymningsväg är blockerad.

Tabell 9.1 – Tidsmarginaler vid de olika utrymningsvägarna för den förenklade dimensionerande lokalen. Röd och grön färg indikerar negativ respektive positiv tidsmarginal.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s] (10MW-brand)	Total tid för utrymning [s] (utan utrymningslarm)	Tidsmarginal [s]
U:1	370	410	- 40
U:2	360	330	+ 30
U:4	340	350	- 10
U:5	390	Blockerad	-
U:6	360	350	+ 10
U:8	360	325	+ 35

För den analytiskt dimensionerade lokalen görs kontrollen för 10 MW-branden där ingen påverkan sker från sprinkler, det vill säga vid felfunktion hos både sprinklersystem och automatiskt brandlarmsystem samt med en blockerad utrymningsväg.

Tabell 9.2 - Tidsmarginaler vid de olika utrymningsvägarna för den analytiskt dimensionerande lokalen. Röd färg indikerar negativ tidsmarginal.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s] (10MW-brand)	Total tid för utrymning [s] (utan utrymningslarm)	Tidsmarginal [s]
U:1	370	420	- 50
U:2	320	370	- 50
U:3	390	Blockerad	-
U:4	330	385	- 55

Kontrollen ringar in kritiska punkter i lokalen, där det alltså finns risk för personer att utsättas för kritiska förhållanden. Ovanstående kontroll ger en preliminär indikation på att risken för att utsättas för kritiska förhållanden ser ut att vara större i det analytiska utförandet. Åtminstone är spridningen av kritiska punkter mer utbredd och de negativa tidsmarginalerna både fler och större. Detta är dock endast en första, grov bedömning av vad tidsmarginalen blir i det värsta fallet, utan att sannolikheter för olika utfall har tagits med. Därför är nästa steg i jämförelsen en förfinad analys med händelseträdmetodik.

När det i analysen behövs en generell tidsmarginal för hela lokalen, som i händelseträdmetodiken nedan, används tiderna vid huvudentrén. Detta görs av två anledningar. Dels är det den enda gemensamma kritiska mätpunkten i de två utförandena och dels är det enligt tidigare beskrivningar överlägset flest personer som påverkas vid denna mätpunkt.

9.2 Händelseträdanalys

Händelseträdmetodiken är en typ av kvantitativ riskanalysmetod och beskrivs i *avsnitt 4.2.2.3*. Själva trädet byggs upp av olika grenar där varje gren representerar ett möjligt utfall. De olika utfallen, med tillhörande sannolikheter och konsekvenser avhandlas i *kapitel 7* och *kapitel 8* och sammanfattas alltså i ett antal händelsetråd i detta kapitel.

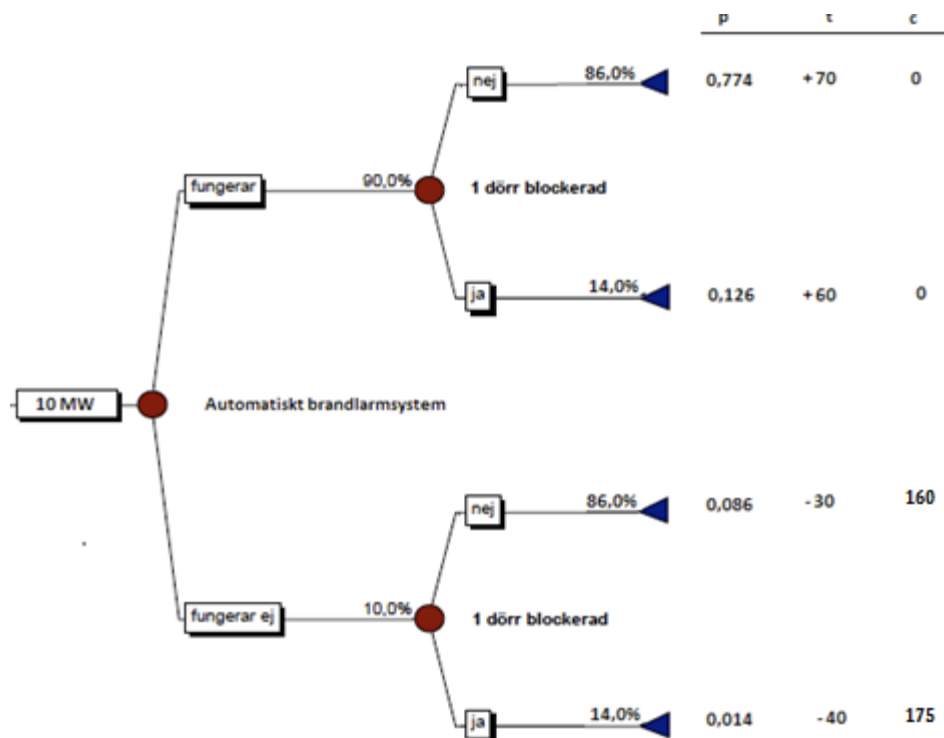
Varje händelsetråd utgår från en starthändelse. I denna analys utgörs starthändelsen av en brand. Som nämnt i *avsnitt 6.4* tas inga sannolikheter för brands uppkomst med. Det görs heller ingen bedömning av hur sannolikhetsfördelningen mellan de två olika erfordrade brandscenarierna kan tänkas se ut. Istället konstrueras två händelsetråd, ett för det förenklade och ett för det analytiska utförandet, givet de båda brandscenarierna respektive.

9.2.1 Händelsetråd med 10 MW-brand som starthändelse

I följande avsnitt presenteras de två händelsetråd som har 10 MW-branden som starthändelse. I träden står *p* för sannolikhet, *t* för tidsmarginal och *c* för konsekvens i form av antalet personer påverkade av kritiska förhållanden.

9.2.1.1 Förenklad dimensionering

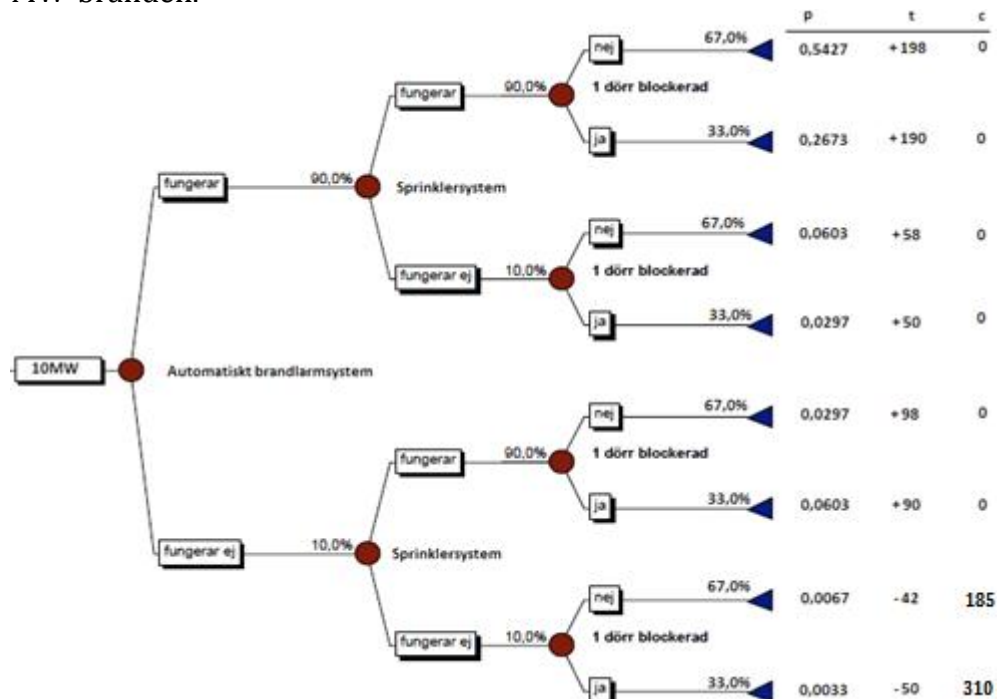
I figur 9.1 redovisas händelseträdet för den förenklad dimensionerade lokalen givet 10 MW-branden.



Figur 9.1 – Händelseträd för den förenklad dimensionerade lokalen givet 10 MW-brand.

9.2.1.2 Analytisk dimensionering

I figur 9.2 redovisas händelseträdet för den analytiskt dimensionerade lokalen givet 10 MW-branden.



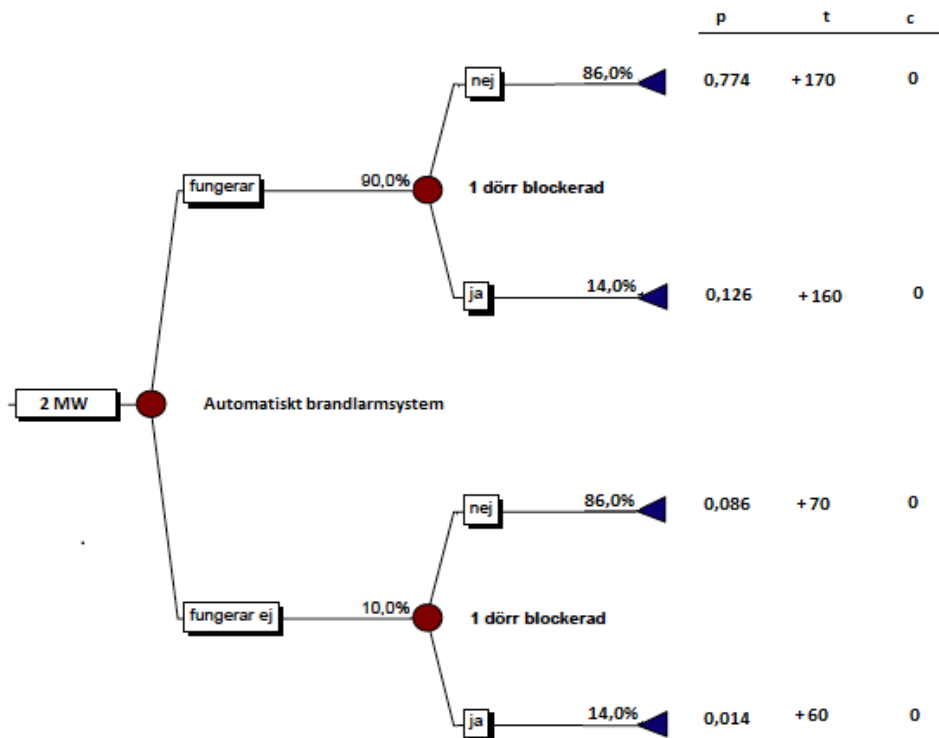
Figur 9.2 - Händelseträd för den analytiskt dimensionerade lokalen givet 10 MW-brand.

9.2.2 Händelsetråd med 2 MW-brand som starthändelse

I följande avsnitt presenteras de två händelsetråd som har 2 MW-branden som starthändelse. I träden står p för sannolikhet, t för tidsmarginal och c för konsekvens i form av antalet personer påverkade av kritiska förhållanden.

9.2.2.1 Förenklad dimensionering

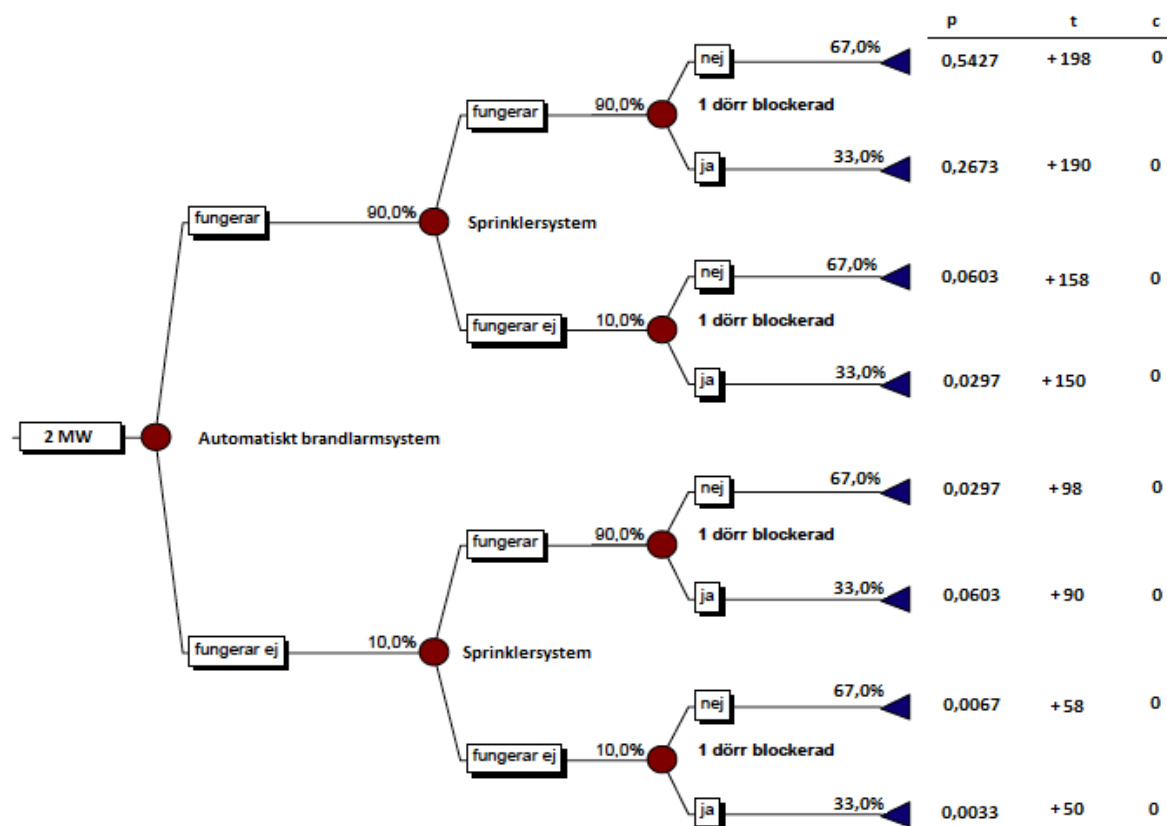
I figur 9.3 redovisas händelsetrådet för den förenklad dimensionerade lokalen givet 2 MW-branden.



Figur 9.3 - Händelsetråd för den förenklad dimensionerade lokalen givet 2 MW-brand.

9.2.2.2 Analytisk dimensionering

I figur 9.4 redovisas händelseträdet för den analytiskt dimensionerade lokalen givet 2 MW-branden.



Figur 9.4 - Händelsetråd för den analytiskt dimensionerade lokalen givet 2 MW-brand.

9.3 F/N-kurvor

Händelseträdens olika utfall kan åskådliggöras i F/N-kurvor, se *avsnitt 6.1.2*. Dessa kurvor presenterar spridningen av hur pass allvarlig konsekvensen kan bli för en grupp individer, i detta fall mätt i antal personer påverkade av kritiska förhållanden.

Konstruerandet av F/N-kurvor blir analysens nästa steg, som har fördelen att flera F/N-kurvor kan ritas in i samma diagram. Detta möjliggör en tydlig jämförelse mellan de olika utförandenas så kallade riskprofiler.

9.3.1 F/N-kurvor 10 MW-brand

I *diagram 9.1* illustreras riskprofilerna för de båda utförandena vid 10 MW-branden. Ett viktigt konstaterande är att båda riskprofilerna huvudsakligen ligger inom området med en positiv tidsmarginal.

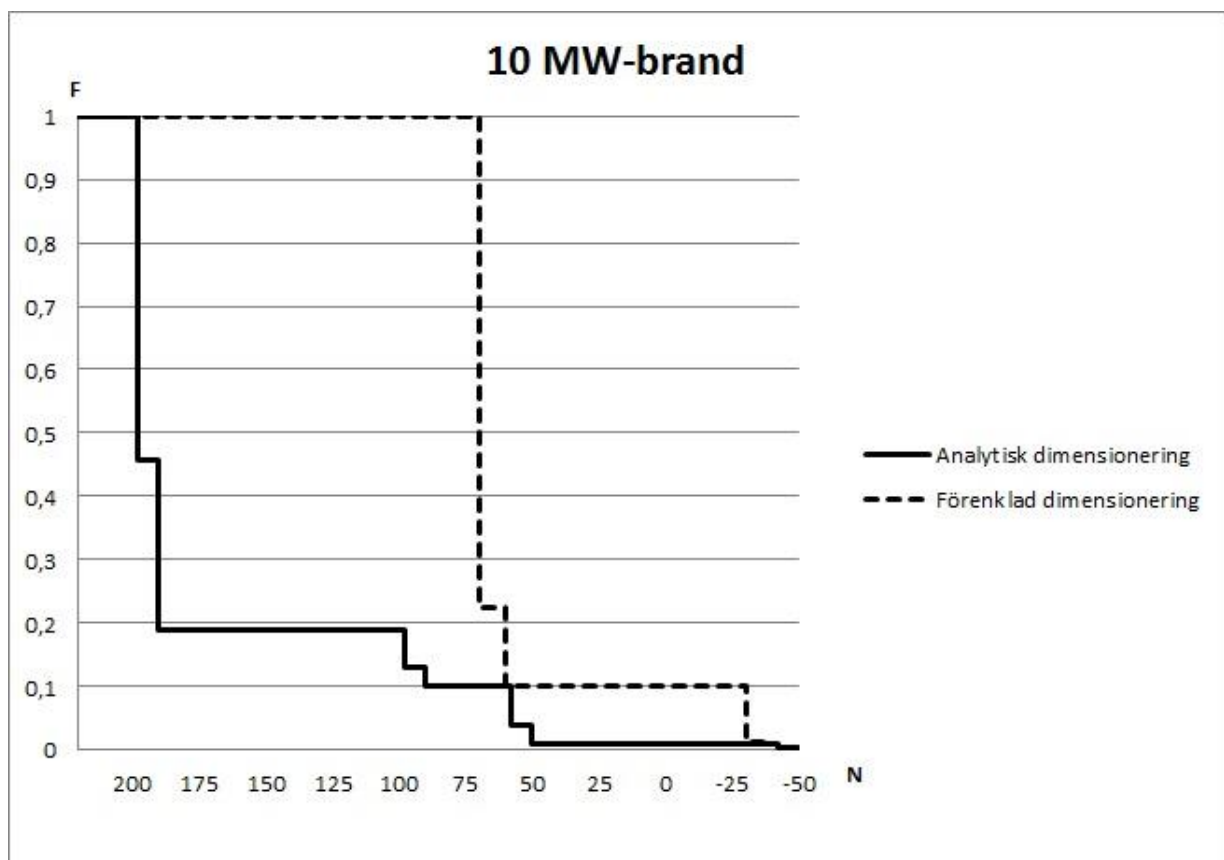
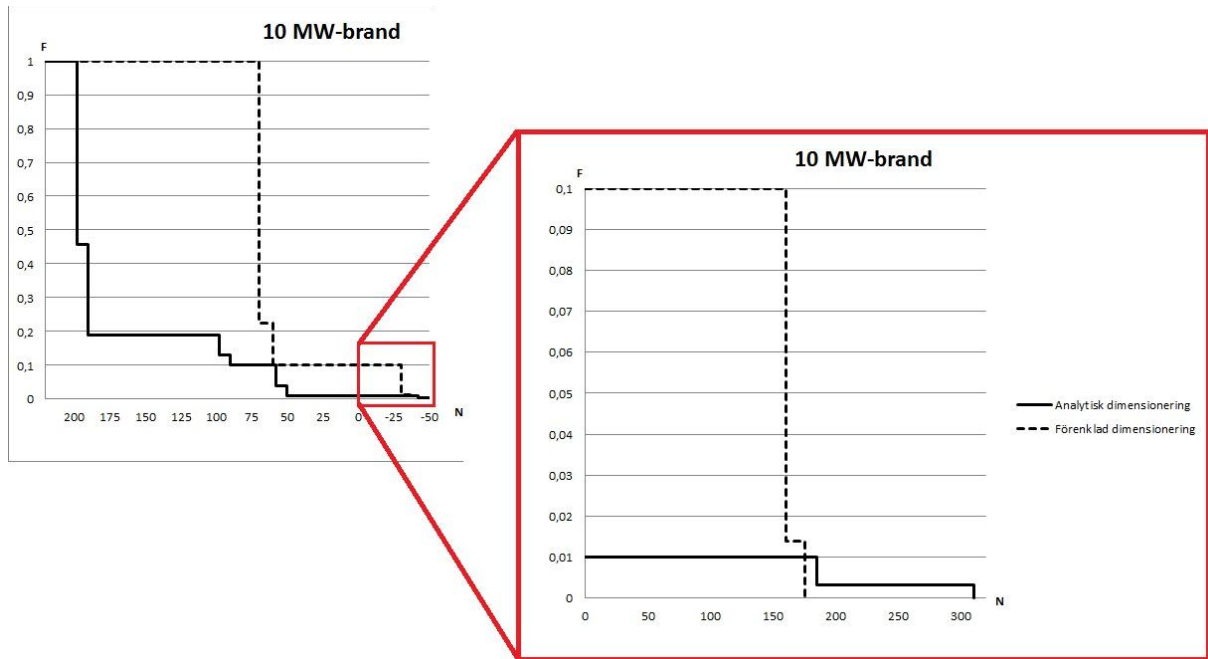


Diagram 9.1 – F/N-kurvor för förenklat och analytiskt utförande för 10 MW-branden där N = tidsmarginal.

Detta innebär att riskprofilerna till största delen inte visar antalet personer påverkade av kritiska förhållanden, utan istället spridningen av hur stor tidsmarginalen blir. Således specialstuderas den del av diagrammet som ligger i området med en negativ tidsmarginal, se *figur 9.5*.



Figur 9.5 – Inzoomning av området med en negativ tidsmarginal.

Området med den negativa tidsmarginalen redovisas i inzoomat format i *diagram 9.2*. Genom detta förfarande erhålls ett mått på hur riskprofilerna ser ut sett till antal personer utsatta för kritiska förhållanden, vilket är den konsekvens som den jämförande analysen om möjligt ska baseras på, se *avsnitt 6.4*.

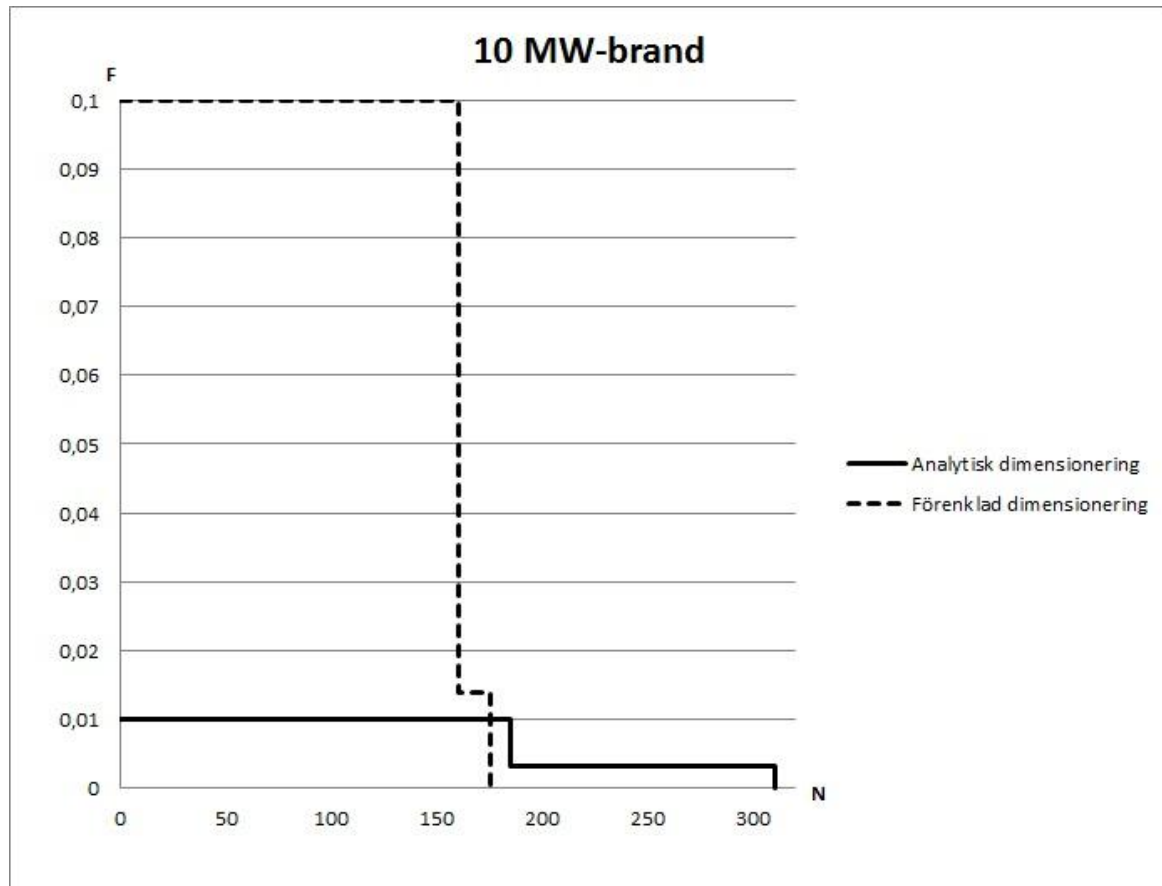


Diagram 9.2 – F/N-kurvor för förenklad och analytiskt utförande där N = antal personer påverkade av kritiska förhållanden.

I *diagram 9.2* ses det att själva risken för att utsättas för kritiska förhållanden är högre i det förenklade utförandet. Samtidigt är det i det analytiska utförandet som den värsta konsekvensen inträffar, dock med en låg sannolikhet. För att översätta F/N-kurvorna till siffervärden görs en jämförelse mellan kurvornas medelvärden enligt:

Förenklad utförande

$$(0,086 * 160) + (0,014 * 175) = 16,21 \text{ påverkade personer/brand.}$$

Analytiskt utförande

$$(0,0033 * 310) + (0,0067 * 185) = 2,26 \text{ påverkade personer/brand.}$$

Detta innebär att det analytiska utförandet i det aktuella fallet innebär en lägre risk för att personer ska utsättas för kritiska förhållanden. Således innebär den analytiska dimensioneringen en säkerhetsnivå som är minst lika bra som den förenklade och därmed accepterad av samhället.

9.3.2 F/N-kurvor 2 MW-brand

I *diagram 9.3* illustreras motsvarande riskprofiler för de båda utförandena vid 2 MW-branden. I detta brandscenario erhålls inga negativa tidsmarginaler, vilket innebär att inga personer blir påverkade av kritiska förhållanden. Enligt tidigare resonemang ger därmed utförandena en säkerhetsnivå som är accepterad av samhället.

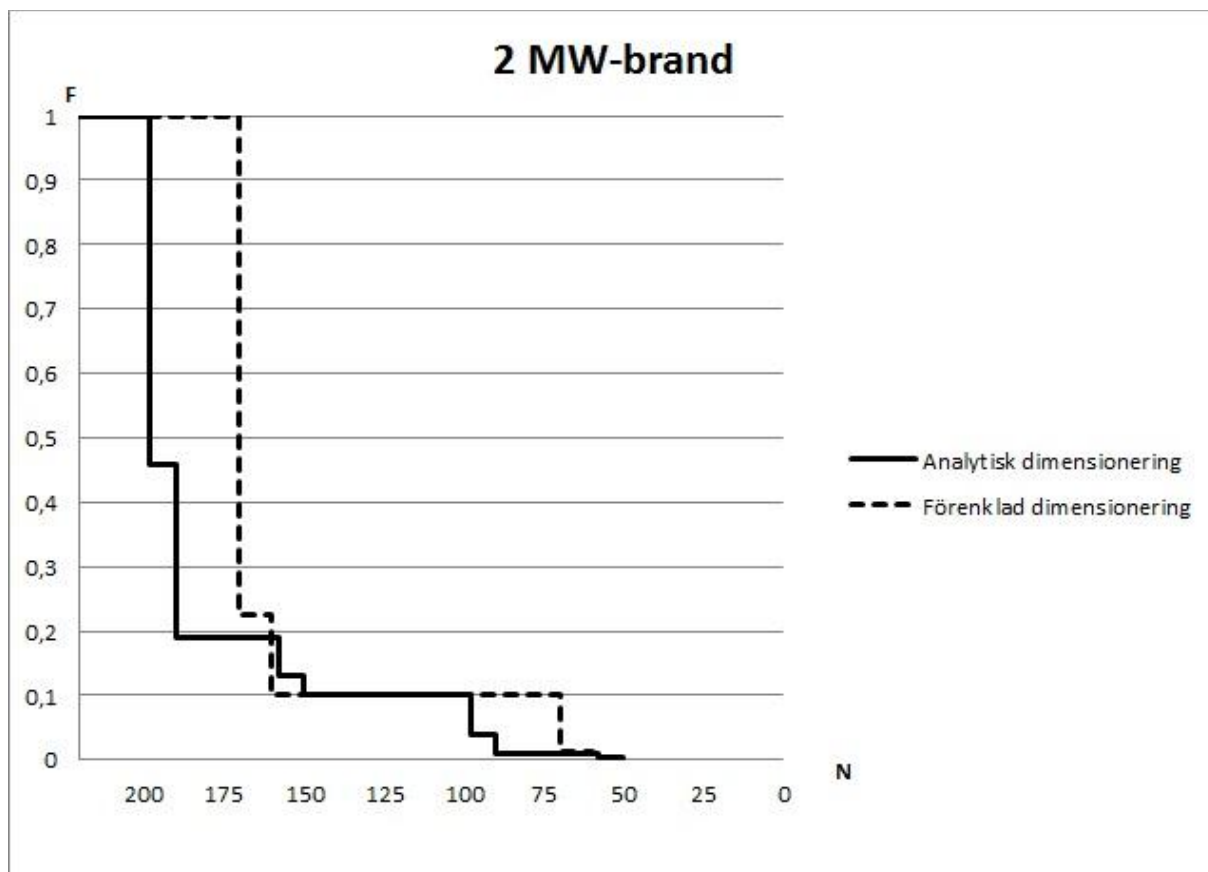


Diagram 9.3 – F/N-kurvor för förenklad och analytiskt utförande för 2 MW-branden där N = tidsmarginal.

För att ändå jämföra alternativen med varandra baseras istället jämförelsen på hur lång den positiva tidsmarginalen blir. I *diagram 9.3* korsar kurvorna varandra i flera punkter, vilket gör det svårt att utifrån endast kurvorna avgöra vilket utförande som innebär den största tidsmarginalen. Därför görs jämförelsen åter igen mellan kurvornas medelvärden enligt:

Förenklad utförande

$$(0,014 * 60) + (0,086 * 70) + (0,126 * 160) + (0,774 * 170) = 158,6 \text{ sekunder}$$

Analytiskt utförande

$$(0,0033 * 50) + (0,0067 * 58) + (0,0297 * 90) + (0,0603 * 98) + (0,0287 * 150) \\ + (0,0603 * 158) + (0,2673 * 190) + (0,5427 * 198) = 181,36 \text{ sekunder}$$

Även i detta fall indikerar medelvärdesjämförelsen att det analytiska utförandet är minst lika bra som det förenklade, och därmed innebär en säkerhetsnivå som är accepterad av samhället.

9.4 Känslighetsanalys av takhöjd

Enligt vad som sägs i *avsnitt 7.1.1* görs en känslighetsanalys av jämförelsen genom att sänka takhöjden från 4,5 till 3 meter. I övrigt råder precis samma förutsättningar som tidigare.

9.4.1 Resultat och reflektioner

I detta avsnitt redovisas känslighetsanalysens resultat i form av att de centrala skillnaderna jämfört med tidigare presenteras. En fullständig presentation av resultaten med den lägre takhöjden ges i *bilaga E*.

I *tabell 9.3* visas skillnaden i hur lång tid det tar innan kritisk sikt uppstår vid huvudentrén med de två olika takhöjderna.

Tabell 9.3 – Tid till kritisk sikt för olika takhöjder och brandförlopp.

<i>Brandscenario</i>	<i>Tid till kritisk sikt, utrymningsväg U:1 [s]</i>	<i>Tid till kritisk sikt, utrymningsväg U:1 [s]</i>	<i>Tidsdifferens [s]</i>
	4,5 m takhöjd	3 m takhöjd	
10 MW-brand	370	210	160
2 MW-brand	470	215	255
Sprinklerbrand	510	170	340

Med de betydligt kortare tiderna till kritiska förhållanden som blir följden av den lägre takhöjden är inte de brandskyddslösningar som beskrivits tidigare tillräckliga, eftersom total tid för utrymning är samma som tidigare. Med detta menas att brandscenario 1 och 3 i BBRAD så som de står beskrivna där nu innebär att tiden för utrymning överstiger tiden till kritiska förhållanden. Den lägre takhöjden innebär dock en tidigare aktivering av både rökdetektorer och sprinkler, men detta är alltså inte tillräckligt för att kompensera för att kritiska förhållanden nu uppstår snabbare.

Tiden till det att kritisk siktbarhet uppstår för 10 MW-branden samt 2 MW-branden är i princip lika lång. Detta beror på att sikten blir kritisk innan någon av bränderna har nått sin maximala effektutveckling, till skillnad från hur det ser ut vid takhöjden 4,5 meter. Eftersom de båda bränderna har samma sotproduktion och tillväxthastighet kommer de båda brandförloppen vara identiska fram till det att 2 MW-branden har nått sin maximala effektutveckling efter cirka 200 sekunder. Därför blir de två tiderna också de samma.

Något som är anmärkningsvärt är att tiden till det att kritisk siktbarhet uppstår för ett sprinklat brandförlopp sker ännu snabbare än för de två övriga. Sprinklerbranden ska tilldelas en högre sotproduktion genom hela brandförloppet enligt BBRAD men har samma tillväxthastighet som övriga två bränder. Med denna ansats uppstår kritiska siktförhållanden tidigare för den sprinklade branden.

Hur pass tillförlitligt det här resultatet är kan ifrågasättas, då sprinklers många fördelar på ett brandförlopp är välkända, vilket inte går i linje med att en sprinkleraktivering i detta fall innebär en försämring av brandskyddet. En utförligare diskussion kring känslighetsanalysens resultat förs i *avsnitt 10.4*.

10 Diskussion

I detta kapitel ansätts ett mer kvalitativt förhållningssätt till rapportens innehåll, genom att en diskussion förs kring i rapporten gjorda avgränsningar, antaganden och förenklingar samt osäkerheter i de resultat som erhållits.

10.1 Tidigare diskussionsavsnitt

Författarna till denna rapport har genomgående strävat efter ett kritiskt förhållningssätt, vilket bland annat visas genom att det förts diskussioner av reflekterande karaktär i anslutning till en del av rapportens kapitel. En kortfattad sammanställning av dessa diskuterande reflektionsavsnitt ges nedan:

- Kapitel 3 (Byggnadstekniskt brandskydd i Sverige): Diskussion om hur det i takt med nyvunna erfarenheter och byggreglernas förändring genom åren vuxit fram en säkerhetsnivå i regelverket i samband med byggande i Sverige som anses som accepterad av samhället.
- Kapitel 5 (BBR och risk): Diskussion kring svårigheterna med att i det aktuella sammanhanget (bränder i byggnader) fastställa en säkerhetsnivå accepterad av samhället grundade på bland annat den mänskliga faktorn och riskbegreppets komplexitet.
- Kapitel 7 (Försöksuppställning): Diskussion kring hur försöksuppställningen anpassas till den jämförande analysen samt de antaganden som görs i samband med den.

Utöver dessa ovan beskrivna diskussionsavsnitt ges nedan en beskrivning av ytterligare områden som anses utgöra föremål för diskussion.

10.2 Säkerhetsnivå och riskmått

Den jämförande analysen görs genom att ta fram riskmått för de olika utförandena av lokalen. Som riskmått kan exempelvis riskprofiler eller genomsnittsvärden användas. Dessa riskmått vart och ett för sig ger kanske inte alltid en heltäckande bild av rådande förhållanden, men i kombination med varandra anser författarna till denna rapport att de ger ett bättre underlag i en beslutssituation.

Genom att enbart studera riskprofilerna kan det beroende på hur de ser ut finnas svårigheter med att avgöra vilket alternativ som ger högst säkerhetsnivå. Särskilt svårt blir det om profilerna korsar varandra på flera ställen, vilket är fallet i 2 MW-brandens i denna rapportens analys. Svagheter med att enbart studera genomsnittsvärden är redan avhandlade i *avsnitt 6.1.1*.

Den genomsnittliga tidsmarginalen är för 2MW-brandens större i det analytiska utförandet jämfört med det förenklade, vilket talar för att detta utförande innebär en säkerhetsnivå som är accepterad av samhället. Å andra sidan kan det analytiska utförandet leda till ett scenario med värre konsekvens än det förenklade för 10 MW-brandens, vilket inte framgår explicit av en jämförelse baserad på genomsnittsvärden.

Genom att även riskprofilerna, illustrerade som F/N-kurvor, redovisas kan ett bättre underlag ges för att göra en bedömning av om säkerhetsnivån med det analytiska utförandet är acceptabel eller inte.

Det är enligt ovanstående stycke tänkbart att det analytiska utförandet, med färre utrymningsvägar och längre total tid för utrymning, kan innebära större konsekvenser än det förenklade utförandet, givet att alla tekniska system felfungerar. Den totala sannolikheten att alla oberoende tekniska system felfungerar samtidigt är dock lägre, ju fler tekniska system det finns.

I slutändan kommer det, för varje situation där riskspridningen skiljer sig mellan två alternativ, vara beslutsfattarens värdering av risk som avgör vilket alternativ som är säkrast. I vissa fall kan det röra sig om att utfall med stora konsekvenser ska undvikas till varje pris. I andra fall kan det handla om att ett flertal avvägningar spelar in och en "medelväg" är den bästa att tillgå. För att tillåta olika preferenser att komma till sin rätt är det lämpligt att ta fram ett så utförligt beslutsunderlag som möjligt, exempelvis genom att presentera flera olika riskmått.

10.3 Takhöjdens inverkan

Resultaten från den jämförande analysen i denna rapport beror starkt på de förutsättningar som finns och de indata som väljs. Val av brandskyddstekniska lösningar, brandscenarier och lokalens utformning är avgörande för vilken säkerhetsnivå som erhålls. Detta innebär att resultaten i rapporten inte på något sätt är allmängiltiga utan endast applicerbara för liknande lokaler som utsätts för liknande brandpåverkan och som utrustas med liknande brandskyddstekniska lösningar. Avvikelser i nämnda parametrar kan ge resultat som är vitt skilda från de som ges i denna rapport.

En starkt bidragande parameter till sådana skillnader är lokalens takhöjd. Känslighetsanalysen som görs visar att det då takhöjden sänks från 4,5 till 3 meter är en betydligt större utmaning att dimensionera den aktuella lokalen analytiskt. Detta på grund av att den lägre takhöjden ger ett snabbare rökfyllnadsförlopp som i sin tur leder till att kritiska förhållanden uppstår tidigare. För att kompensera för detta krävs då större brandskyddstekniska åtgärder, som antingen förlänger tiden till kritiska förhållanden eller förkortar tiden för utrymning. Exempel på sådana åtgärder kan vara brandgasventilation eller kortare avstånd till utrymningsvägar.

Det bör förhålla sig som så, att en låg takhöjd gör det svårt att "räkna hem" en analytiskt dimensionerad lokal på grund av det ogynnsamma brand- och rökfyllnadsförlopp som då uppstår. De åtgärder som måste vidtas kan bli dyra och omfattande, och i slutändan blir det kanske både enklare och billigare att använda en förenklad dimensionering. Det är även tänkbart att det finns situationer där en förenklad dimensionering utgör den enda möjliga lösningen. Detta då en lösning enligt förenklad dimensionering inte behöver verifieras genom exempelvis rökfyllnads- och utrymningssimuleringar.

Detta innebär alltså att om säkerhetsnivån i en lokal med låg takhöjd verifieras genom analytisk dimensionering och detta visar att säkerhetsnivån trots stora skyddsåtgärder blir oacceptabel, så kan det väljas en lösning där det inte finns något krav på verifiering, nämligen förenklad dimensionering. I ett sådant fall kan det ifrågasättas om den

säkerhetsnivå som råder i den förenklade dimensioneringen verkligen borde vara accepterad av samhället.

Författarna till denna rapport anser det som något märkligt att takhöjdens till synes stora inverkan på säkerhetsnivån inte omnämns i det kapitel som behandlar brandskydd i BBR 19. Den enda föreskrift som berör takhöjden i publika lokaler hittas i ett annat kapitel, som handlar om bland annat tillgänglighet. I denna föreskrift står följande:

”3:3112 Publika lokaler

Rumshöjden i publika lokaler ska vara minst 2,70 meter. I rum avsedda för ett mindre antal personer får denna rumshöjd underskridas. Rumshöjden får dock inte vara lägre än 2,40 meter.”

Placering av utrymningsvägar och dörrbredden på dessa är parametrar som också har stor inverkan på byggnadens säkerhetsnivå. Till skillnad från takhöjden finns det dock allmänna råd rörande accepterade gångavstånd, dörrbredder och avstånd mellan utrymningsvägar angivna i BBR 19. Detta innebär att dörrarnas bredd och placering inte kan väljas på så många olika sätt inom ramen för förenklad dimensionering. En omfattande utredning rörande takhöjdens inverkan hade kanske kunnat generera i motsvarande allmänna råd för denna. Exempelvis går det att tänka sig att ett gränsvärde på takhöjden tas fram i brandskyddskapitlet likt vad som sägs i 3:3112, ett gränsvärde under vilket analytisk dimensionering, med tillhörande verifiering, krävs.

De byggnader som troligen främst berörs av detta är sådana byggnader som ligger precis på gränsen till Br0-klassning. Sådana byggnader som faller precis inom ramen för förenklad dimensionering riskerar att få en resulterande säkerhetsnivå som vid en verifiering inte skulle accepteras av samhället. Exempel på sådana byggnader kan vara nattklubbar avsedda för strax under 600 personer eller samlingslokaler som inte ligger i markplan avsedda för strax under 1000 personer.

10.4 Sprinkler – teori och verklighet

Med den ordentligt tilltagna sprinklerpåverkan som nu finns beskriven i BBRAD är det lätt hänt att antaganden görs om att detta innebär stora argument för en installation av sprinklersystem. Studeras effektutvecklingskurvorna för ett sprinklat respektive osprinklat brandförlopp, se *diagram 7.1*, är det inte orimligt att anta att det sprinklade brandförloppet innebär en betydligt mindre påfrestning på byggnaden och att kostnaderna för övriga brandskyddstekniska lösningar kan hållas nere.

Fördelarna med ett sprinklat brandförlopp är flera. Som exempel kan nämnas att brandgaserna kyls, effektutvecklingen hämmas och brandspridningen både inom och mellan byggnader begränsas. Det finns ett flertal studier gjorda på området som bekräftar detta. I utrymningsssammanhang torde detta innebära att miljön för utrymmande personer blir betydligt drägligare under ett sprinklat brandförlopp.

En kraftig sprinklerpåverkan kan lätt leda till att det sätts stor tilltro till detta tekniska system. Genom tekniska byten kan andra brandskyddsåtgärder ersättas med sprinklersystem, vilket ger ett försämrat brandskydd i de fall sprinklersystemet inte

aktiverar. Därför understryks här än en gång vikten av att ta hänsyn till felfunktion genom exempelvis händelseträdmotodik, se *avsnitt 7.3*. I en sådan ansats är det också viktigt att sannolikheten för felfunktion är nogra vald och inte sätts som alltför låg.

När det sen kommer till att simulera ett sprinklat brandförlopp i program som FDS, vilket är ett flitigt använt verktyg för ändamålet i branschen, tillkommer ytterligare en dimension av sprinklerpåverkan, nämligen sotproduktion. I BBRAD anges det att denna sotproduktion ska genomgå nästan en fördubbling i ett sprinklat brandförlopp, från 0,06 till 0,1 gram per brunnet gram bränsle. Detta bottnar i att ett bränsle brinner mer ofullständigt efter en sprinkleraktivering och således producerar mer sot. En kraftigare sotproduktion försämrar siktbarheten för de utrymmande personerna snabbare. Det anges dock ingenting om att denna kraftigare sotproduktion ska ansättas efter själva sprinkleraktiveringen, utan istället ska den råda genom hela brandförloppet. Detta resulterar i att simuleringen återger ett brandförlopp som är mycket konservativt, möjligen överkonservativt på gränsen till orealistiskt.

Resultaten från känslighetsanalysen, där takhöjden sänks från 4,5 till 3 meter, säger att kritisk sikt uppstår tidigare vid sprinkleraktivering än utan. Sprinklerpåverkan, så som den står beskriven i BBRAD, har de största effekterna på brandens maximala effektutveckling. I det aktuella fallet har dock den maximala effektutvecklingen inte någon större betydelse, då sprinkleraktiveringen sker under tillväxtfasen, och därmed medför att tillväxthastigheten och sotproduktionen blir de avgörande parametrarna. Siktbarheten blir i de allra flesta fall det kriterium som når kritiska nivåer först, därför är det av stor betydelse att siktförhållandena i en rökfylldnadssimulering återges på ett realistiskt sätt.

Då den maximala effektutvecklingen inte är av avgörande betydelse i sammanhanget antas det att det inte skulle erhållas någon större skillnad i resultat genom att basera analysen på andra brandscenarier med högre maximal effektutveckling. Brandscenarier med högre tillväxthastighet eller sotproduktion hade emellertid troligtvis medfört skillnader i resultat, enligt ovanstående stycke. Genom att öka dessa parametrar är det tänkbart att lokalen med det förenklade utförandet hade missgynnats i den jämförande analysen, i och med avsaknaden av ett sprinklersystem som med relativt hög sannolikhet faktiskt kan mildra konsekvenserna radikalt. Utrymningsförloppet går förvisso snabbare i det förenklade utförandet men det finns samtidigt ingen möjlighet att tiden till kritiska förhållanden förlängs genom sprinkleraktivering.

Det är viktigt att särskilja på modell och verklighet. Även om datorprogram som FDS är ett utmärkt verktyg för att uppskatta rökfylldnadsförlopp så får det inte glömmas bort att också kritiskt granska både resultat och indata. I det här fallet kan man fråga sig om den kraftigare sotproduktionen genom hela brandförloppet som anges i BBRAD på ett bra sätt kompenserar för den mer ofullständiga förbränningen efter sprinkleraktivering, när fenomenet simuleras i exempelvis FDS. Resultaten från känslighetsanalysen vittnar om att det allmänna råd om sotproduktion hos sprinklade bränder som anges i BBRAD är dåligt anpassat för de beräkningsverktyg för siktberäkningar som är vedertagna inom branschen. Detta blir extra påtagligt i de fall takhöjden är låg. Åter igen efterfrågar författarna till denna rapport gränsvärden på takhöjd, som i det här fallet skulle kunna ge ett valideringsområde för simulering av sprinklade brandförlopp.

En annan aspekt är att det som en följd av att övriga förhållanden som exempelvis spridningsrisk och brandgastemperatur förbättras genom sprinkleraktivering kanske borde tolereras lägre gränsvärden för siktbarhet, utan att kritiska förhållanden anses råda. I verkligheten är det trots allt högst troligt att en sprinkleraktivering innebär att miljön för utrymmade personer blir kraftigt förbättrad. Dålig överensstämmelse mellan regelverk och datorprogram är inget som ska omkullkasta detta.

10.5 Återkoppling till problematiken med otillräcklig verifiering

I *avsnitt 5.1.1* beskrivs exempel på den problematik kring den oreglerade analytiska dimensioneringen som uppmärksammats tidigare. I *avsnitt 5.1.2* beskrivs sedan utdrag ur BBRAD som indikerar på att införandet av dessa allmänna råd rörande analytisk dimensionering är ett steg i rätt riktning. I den jämförande analysen används sedan allmänna råd från BBRAD rörande både brandscenarier, utrymning och verifiering.

Arbetet med den jämförande analysen anses av författarna till denna rapport som grundligt och väl genomfört, vilket innebär att de allmänna råd som finns i BBRAD anses utgöra en god grund för att en analytisk dimensionering utförs på ett bra sätt. Lundin (2001) beskriver som tidigare nämnt i *avsnitt 5.1.1* att en studie av ett fyrtiotal svenska brandskyddsdocumentationer från 90-talets senare hälft, där analytisk dimensionering använts, lett till oroväckande slutsatser rörande spridning av säkerhetsnivån. Exempel på brister är att tillförlitlighet hos olika system inte beaktas, och att analysen av hur säkerheten påverkas av ett tekniskt byte är otillräcklig. Detta är brister som författarna till denna rapport anser ha uppmärksammats och åtgärdats på ett bra sätt i och med utgivandet av BBRAD.

Genom införandet av de allmänna råden rörande analytisk dimensionering tror författarna till denna rapport att den långsiktiga effekten blir att spridningen av utförandet av en analytisk dimensionering mellan olika aktörer minskar. Det har inte funnits några riktlinjer tidigare för hur ett sådant arbete ska utföras, och när det nu finns så innebär det också förutsättningar för en kvalitetshöjning bland de aktörer som presterat undermåliga analytiska dimensioneringar tidigare.

10.6 Generellt kring antaganden och angreppssätt

Då antaganden görs i rapporten är dessa genomgående konservativa för att på så sätt bygga in en säkerhetsmarginal i de resultat som erhålls. Exempel på sådana antaganden är radiella avstånd till sprinkler och rökdetektorer samt felfunktion hos olika tekniska system. Det har i tidigare avsnitt understrukits att exempelvis siffervärden för felfunktion hos olika tekniska system inte ska ses som absolut objektiva eller sanna, även om detta är vad som eftersträfvats. De antaganden som görs innehåller osäkerheter som fortplantas vidare till rapportens resultat, då dessa delvis bygger på antaganden.

När det kommer till förberedelsetid vid utrymning så används de siffervärden för olika situationer som anges som allmänna råd i BBRAD. Då det i utrymningsssammanhang rör sig om människors beteende vid brand är det mycket svårt att på förhand uppskatta hur dessa reagerar i olika situationer. Individberoende egenskaper som påverkar förberedelsetiden kan vara reaktionsförmåga, lokalkännedom, sällskap och liknande. Dessa högst individuella parametrar är mycket svåra att kvantifiera, och således kan man fråga sig hur ett sådant siffervärde ska anges för att så väl som möjligt täcka in ett

sannolikt utfall. Författarna till denna rapport anser att de siffervärden som anges i BBRAD är väl tilltagna och således bidrar till att verifieringen utförs konservativt.

Det tas i denna rapport ingen hänsyn till förbrinntid som är den tid det tar från det att ett material exponeras för en antändningskälla till dess att branden börjar växa och accelerera i tillväxt. Det är svårt att uppskatta en förbrinntid plus att det är ett konservativt antagande att inte ta med det, då detta ger ett snabbare brandförlopp.

Kritiska förhållanden är ett brett begrepp med många tänkbara definitioner, men definieras i denna rapport utifrån de riktlinjer Boverket tagit fram. Brandgaslagrets höjd över golvet är genomgående den parameter som nås först i de simuleringar som görs i denna rapport. Kritiska förhållanden anses emellertid inte råda förrän detta brandgaslager medför att gränsen för siktbarhet överskrids, eller det att någon annan parameter för kritiska förhållanden uppfylls. Det kan mycket väl tänkas vara förenat med stora obehagskänslor för personer att röra sig i brandgasfyllda miljöer även om sikten är god och därmed kan brandgaslagrets höjd anses som kritiskt i det avseendet. Så länge brandgaserna inte innebär oacceptabla siktförhållanden för dessa personer anses det av Boverket dock inte råda kritiska förhållanden, vilket också blir ståndpunkten i denna rapport.

Det görs ingen känslighetsanalys av brandens placering i den jämförande analysen. Detta har sin grund i att analysen är av relativ karaktär, samt att lokalens geometri, personantal och utrymningsstrategi inte skiljer sig nämnvärt mellan de två utförandena. Det blir således inga stora skillnader med att göra jämförelsen för en brand placerad mitt i lokalen och en brand placerad exempelvis i anslutning till huvudentrén. Skulle det råda stora skillnader i utformning av lokalen mellan de två dimensioneringstyperna är det tänkbart att det uppstår en uppsjö av intressanta möjligheter till variering av brandplacering. I denna rapport eftersträvas det dock att den jämförande analysen i så stor utsträckning som möjligt ska göras i generella termer och inte nischas till en specifik lokal med unik utformning.

10.7 Datorprogram

De resultat som erhålls i denna rapport beror till stor del på de datorprogram för simuleringar och beräkningar som används. Dessa datorprogram besitter inneboende osäkerheter, begränsningar och förenklingar av verkligheten som har betydelse för resultatet. En beskrivning av datorprogrammen samt vilka modeller och teorier de bygger på ges i *bilaga A*. Vald indata och betydelse för resultaten ges i *bilaga B*.

10.8 Nordisk jämförelse av förenklad dimensionering

Beskrivningen av det pågående harmoniseringsarbetet, INSTA 950, och vad detta innebär beskrivs i *avsnitt 3.4.2.3*. I denna rapport studeras en liten del av det svenska regelverket, nämligen den del som är knuten till utrymnings säkerhet i samlingslokaler i verksamhetsklass 2B. Genom att studera samma del av de övriga ländernas regelverk ges en indikation på hur förutsättningarna ser ut för en harmoniserad specifikation.

En harmoniserad specifikation underlättas om det finns likheter i den förenklade dimensioneringen mellan de olika länderna. Detta eftersom det finns ett samspel mellan förenklad och analytisk dimensionering, genom att analytisk tar vid där förenklad frångås eller är otillräcklig. Skillnaden i säkerhetsnivå mellan de olika ländernas

förenklade dimensionering och analytisk dimensionering genom BBRAD får inte vara för stora. Därför kartläggs likheter och skillnader i förenklad dimensionering för den aktuella typen av samlingslokal mellan de brandskyddsföreskrifter som gäller för de olika nordiska länderna.

Vid en god överrensstämmelse mellan ländernas förenklade dimensionering finns det möjligheter att resultaten från den jämförande analysen i denna rapport även kan vara användbara för de andra nordiska länderna. Om så är fallet borde förutsättningarna för att införa tydligare rekommendationer för analytisk dimensionering, likt BBRAD, i övriga nordiska länder vara goda samtidigt som en harmoniserad specifikation blir möjlig.

I *bilaga G* presenteras en tabell som översiktligt beskriver vad de olika ländernas regelverk säger rörande olika delar av utrymnings säkerhet i denna typ av samlingslokal. Jämförelsen visar att det finns stora likheter mellan regelverken för studerade utrymningsparametrar. Valda parametrar utgör dock endast en liten del av alla föreskrifter som finns.

Samtidigt som flera likheter har identifierats går det också att se vissa skillnader mellan länderna, framförallt i krav rörande blockerade utrymningsvägar samt särskilda krav kopplade till area och personantal. Dessa särskilda krav har troligen vuxit fram i takt med utvecklingen och erfarenhetsbyggandet i respektive land, likt det sätt som avhandlas i *kapitel 3*. Genom att hypotetiskt låta respektive nordiskt lands föreskrifter utgöra det förenklade utförandet i den jämförande analysen samtidigt som BBRAD fortsätter utgöra det analytiska utförandet kan det kvalitativt diskuteras vilka resultat som då skulle erhållas jämfört med vad som erhållits i denna rapport.

Generellt kan sägas att det finns hårdare krav på när tekniska system ska installeras kopplat till brandcellsarea i de övriga nordiska länderna jämfört med Sverige. Detta innebär att lokalen i det förenklade utförandet hade varit tvungen att förses med sprinkler eller brandgasventilation, om måtten 60 x 80 meter ska bevaras. Skillnaderna mellan utförandena hade således troligen blivit mindre, liksom skillnaderna i säkerhetsnivå. Danmark står i en klass för sig, där ett krav på sprinkler finns om brandcellens area överstiger 2000 kvadratmeter. Ett förenklat utförande utan nämnda tekniska system skulle i samtliga övriga länder utom Island tvingas förminska kraftigt genom exempelvis sektionering i mindre brandceller.

Island och Danmark har hårdare krav gällande maximalt gångavstånd till utrymningsväg, 25 meter istället för övriga länders 30 meter. Kortare gångavstånd medför ett större antal utrymningsvägar, vilket med övriga förutsättningar i denna rapport troligen skulle ge ett snabbare utrymningsförlopp och en högre säkerhetsnivå.

När det kommer till blockerad utrymningsväg så är det endast Island som har ett uttryckligt krav på att detta ska tas hänsyn till. I det aktuella sammanhanget har en blockerad utrymningsväg en liten inverkan på resultatet, vilket innebär att avsaknaden av detta krav i Norge, Danmark och Finland troligen inte innebär några större skillnader vid en jämförande analys.

Den mycket grova jämförelsen som görs i *bilaga G* visar på att de svenska kraven för förenklad dimensionering generellt är något lägre än övriga nordiska länders. Detta innebär att det inte är säkert att den erhållna säkerhetsnivån med analytisk dimensionering enligt BBRAD når upp till referensnivåerna för de övriga nordiska ländernas förenklade dimensionering.

Arbetet med den harmoniserade specifikationen är i startgroparna och det kommer innebära mycket tid och resurser att ta fram en vägledning i analytisk dimensionering som blir gällande i alla länder. Om BBRAD innebär en för låg säkerhetsnivå eller om de övriga nordiska ländernas referensnivåer är för höga låter författarna till denna rapport vara osagt. Vad som står klart är att förutsättningar för en harmoniserad specifikation finns, men det kommer krävas att en gemensam accepterad säkerhetsnivå fastställs. En grundförutsättning för detta är att det måste finnas en prestigelöshet och en taktfullhet på hög politisk nivå från de deltagande ländernas sida, där viljan att nå en harmoniserad specifikation är starkare än den nationella stoltheten.

11 Slutsats

I detta avslutande kapitel dras slutsatser genom att de frågeställningar som beskrivs i rapportens inledande kapitel besvaras.

I rapportens inledning ställs två primära frågeställningar, med tillhörande sekundära frågeställningar. Dessa besvaras nedan, vilket utgör slutsatserna som dras i denna rapport.

Går det att, genom en jämförande analys, identifiera någon skillnad i säkerhetsnivå i samband med utrymning för två lokaler, projekterade enligt förenklad respektive analytisk dimensionering?

Ja, det går. Genom att på ett strukturerat och väl underbyggt sätt ta hänsyn till sannolikheter och konsekvenser för olika utfall i de olika utförandena kan dessa ställas mot varandra i en jämförande analys. Skillnader i säkerhetsnivå i samband med utrymning kan därmed identifieras.

Vilken eller vilka riskanalysmetoder och riskmått är lämpliga för en sådan jämförelse?

För att åstadkomma ovanstående är en kvantitativ riskanalysmetod lämplig, där fördelningen av de olika utfallen redovisas och där osäkerheter hanteras. Händelseträdmotodiken som används i denna rapport, med de tillhörande diskussionsavsnitten kring osäkerheter uppfyller allt detta. Som riskmått anses det som lämpligt att presentera både samhällsrisk i form av F/N-kurvor och medelvärde, för att spegla olika beslutsfattares preferenser och presentera ett bra beslutsunderlag.

Kan det, utifrån rapportens resultat, ges någon indikation på om införandet av BBR 19 och BBRAD fyller sitt syfte, det vill säga en mindre spridning av säkerhetsnivå i analytisk dimensionering som samtidigt innebär att samhällets krav på säkerhet uppfylls?

Att spridningen av säkerhetsnivå vid analytisk dimensionering kommer minska i och med införandet och användandet av BBRAD anses av författarna till denna rapport som högst sannolikt. Den jämförande analysen indikerar också på att BBRAD uppfyller sitt syfte att uppfylla samhällets krav på säkerhet. Detta genom att i det aktuella fallet ge en säkerhetsnivå som är högre än den av samhället redan accepterade referensnivån i förenklad dimensionering.

Kan det identifieras svagheter och förslag på förbättringar i BBR 19 och BBRAD?

Ett avsnitt i BBR 19 med gränsvärden för olika takhöjder knutna till exempelvis olika typer av lokaler och verksamheter och vad dessa innebär sett till lämplig dimensionerings- och verifieringsmetod är en idé som vuxit fram under examensarbetets gång. Vidare anser författarna till denna rapport att det i BBRAD sett till sotproduktion i ett sprinklat brandförlopp råder dålig anpassning till vedertagna modeller och verktyg för siktberäkningar, särskilt för låga takhöjder.

Kan det utifrån denna rapports resultat göras lärdomar som kan vara intressanta i ett större perspektiv, i detta fall en harmoniserad specifikation av analytisk dimensionering enligt det internordiska samarbetet INSTA 950?

Rapportens resultat kan komma att bli intressanta för andra länder vars regelverk ser liknande ut sett till uppbyggnad och innehåll, och som är intresserade av att öppna en dörr mot en analytisk dimensionering med en reducerad spridning av säkerhetsnivå. I det nordiska standardiseringssamarbetet, INSTA 950, finns det sådana förutsättningar och rapportens resultat kan således fungera som inspirationskälla i sammanhanget.

Som slutord ska sägas att rapportens resultat endast baseras på ett av många tänkbara utföranden av den analytiskt dimensionerade lokalen. Generella slutsatser kring dessa resultat bör göras med stor försiktighet. Den analytiska dimensioneringen som dimensioneringsmetod är fortfarande oreglerad till vissa delar, och utrymme ges för den enskilde projektören att göra egna val och tänka själv. Författarna till denna rapport anser att detta utrymme måste få finnas kvar även i framtida revideringar av BBRAD.

Litteraturförteckning

- Aragón, J. M., Rey, F. & Chica, J. (2008). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao, Spanien: LABEIN, teknologiskt centrum.
- Avontuur, G. (2000). *Reliability Analysis in Mechanical Engineering Design*. Delft: Technische Universiteit Delft.
- Backman, J. (2008). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur.
- Bengtson, S., Frantzich, H., Jönsson, R. & Marberg, P.-A. (2012). *Brandskyddshandboken: en handbok för projektering av brandskydd i byggnader*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Boverket. (1994). *Boverkets byggregler, BBR 1, BFS 1993:57*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket 1. (2011). *Boverkets byggregler, BBR 18, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 2011:6*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket 2. (2011). *Boverkets byggregler, BBR 19, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 2011:26*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket 3. (2011). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 1, BFS 2011:27*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket 4. (2011). *Konsekvensutredning- för revidering (BFS 2011:26) av avsnitt 5 Brandskydd i Boverkets byggregler, BBR (BFS 2011:6)- för allmänt råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27)*. Karlskrona: Boverket.
- BSI. (2002). *PD 7974-0:2002, Application of fire safety engineering principles to the design of buildings - Part 0, Guide to design framework and fire safety engineering procedures*. London: British Standards.
- Dahlberg, P. & Maria, D. (2001). *Riskstudie av Farligtgodstransporter inom Norra Stockholms län*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Davidsson, G. (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Davidsson, G., Lindgren, M. & Mett, L. (1997). *Värdering av risk*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Department of Building and Housing. (2012). *Verification Method, Framework for Fire Safety Design: For New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire*. Wellington: Department of Building and Housing.
- Dittmer, T. & Jämtäng, U. (2006). *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller i ett tunnelscenario*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

- Drysdale, D. (2000). *An introduction to fire dynamics*. Chinchester: John Wiley & Sons.
- Fischhoff, B., Watson, S.R. & Hope, C. (1984). Defining Risk. *Policy Sciences*, Vol. 17, No. 2, pp. 123-139.
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual till Simulex ver 1.2*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Frantzich, H. & Lundin, J. (2000). *Riskbaserad brandteknisk dimensionering: slutredovisning av projektet "Dimensionering efter beräknad risk"*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Frantzich, H. & Nystedt, F. (2011). *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Garrick, B. (1998). Technological stigmatism, risk perception, and truth. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 59, No. 1, pp. 41-45.
- Höst, M., Regnell, B. & Runeson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur.
- INSTA (2012). *draft Technical Specification INSTA 950, Fire Safety Engineering - Verification of fire safety design alternatives*.
- Johansson, H. (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Johansson, H. & Lundin, J. (1999). *Riskbaserad utvärdering av alternativ brandskyddsutformning i byggnader*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Kaplan, S. (1997). The Words of Risk Analysis. *Risk Analysis*, Vol. 17, No. 4, pp. 407-417.
- Leandersson, A., Olofsson, M., Thuns, S. & Wibelius, J. (2011). *Brandteknisk riskvärdering av Bräcke ishall*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Lundin, J. (2001). *Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Lundin, J. (2004). *Acceptabel risk vid dimensionering av utrymnings säkerhet*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Lundin, J. (2005). *Safety in case of fire : the effect of changing regulations*. Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University.
- Lundin, J. & Olsson, F. (2000). *Kostnadseffektiv utformning av brandskydd*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

- Malm, D. & Pettersson, A.-I. (2008). *Tillförlitlighet för automatiska sprinkleranläggning - en analys av befintlig statistik*. Stockholm: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Mattsson, B. (2000). *Riskhantering vid skydd mot olyckor: problemlösning och beslutsfattande*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. & Floyd, J. (2007). *Fire Dynamics Simulator (Version 5) - User's Guide*. Washington: National Institute of Standards and Technology.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2011). *Vägledning för risk- och sårbarhetsanalyser*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).
- Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Nilsson, J. (2003). *Introduktion till riskanalysmetoder*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Norén, J., Bengtsson, J & Rantatalo, T. (2012). *The Effect of New Detailed Regulations on Fire Safety Engineering and Societal Risk Acceptance*. Presenterad vid 9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods. Hong Kong, 2012-06-20.
- Nystedt, F. (2000). *Riskanalysmetoder*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Nystedt, F. (2011). *Verifying fire safety design in sprinklered buildings*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Nyysönen, T., Rajakko, J. & Keski-Rahkonen, O. (2005). *On the reliability of fire detection and alarm systems - Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations*. Espoo: VTT.
- Olsson, F. & Frantzich, H. (1999). *Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Paté-Cornell, M. (1996). Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and Systems Safety*, Vol. 54, No. 2, pp. 95-111.
- Renn, O. (1998). The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 59, No. 1, pp. 49-68.
- Riskkollegiet. (1991). *Skrift nr 1: Att jämföra risker - Information och rekommendationer från Riskkollegiet*. Stockholm: Riskkollegiet.

Swedish Standards Institute. (2010). *SS-EN 12845:2004+A2:2009 Brand och räddning - Fasta släcksystem - Automatiska sprinklersystem - Utförande, installation och underhåll*. Stockholm: Swedish Standards Institute (SIS).

Slovic, P. (2001). The risk game. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 86, No. 1-3, pp. 17-24.

Svenska Brandförsvarsföreningen. (2001). *Regler för automatisk brandlarmanläggning*. Stockholm: Brandförsvarsföreningens Service AB

Värmlands Brandhistoriska Klubb (2004). *Värmlands Brandhistoriska Klubb*. Tillgänglig: <http://www.brandhistoriska.org/> Utvecklingen i Sverige / [2012-07-30]

Bilaga A – Använda datorprogram

I denna bilaga beskrivs de datorprogram för simulering som används i rapportens jämförande analys. Teori bakom programmen samt inneboende osäkerheter redovisas.

A.1 FDS

Fire Dynamics Simulator (FDS) är ett program som används för att skapa Computational Fluid Dynamics (CFD)-modeller. Det är ett verktyg för att beräkna och analysera strömningsproblem, som ett alternativ till fullskaleförsök. CFD-programmen är uppbyggda genom att volymen som är av intresse delas in i en stor mängd kontrollvolym, så kallade celler. Programmet tar hänsyn till turbulens och effektutveckling i varje enskild cell.

FDS används för att simulera brandförlopp och på så sätt få fram utdata som i sin tur används för att bestämma när kritiska förhållanden uppstår. FDS-simuleringarna är en central del i rapporten då resultaten till stor del bygger på utdata från simuleringarna.

Det är användarens eget ansvar att anpassa modellen för att ta hänsyn till de fenomen som påverkar respektive simulering. Exempel på detta är att ställa in termiska egenskaper på material och anpassa effektutveckling så att det på ett bra sätt efterliknar vad som hade skett vid en verklig brand (McGrattan, McDermott, Hostikka & Floyd, 2007).

FDS jobbar numeriskt med Navier-Stokes ekvationer, anpassade för att beräkna långsamt termiskt drivna flöden på ett lämpligt sätt. Programmet är inriktat mot rök- och värmetransport. Algoritmen som används är en så kallad predictor-corrector algoritm, vilken innebär att programmet uppskattar ett värde för att lösa ekvationen. Detta värde anpassas sedan till dess att ekvationen är löst (Dittmer & Jämtäng, 2006).

Turbulens hanteras genom Large Eddy simulations (LES), Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) eller kan teoretiskt även beräknas med Direct Numerical Solution (DNS). Om inget annat anges använder programmet LES för att beräkna turbulensen. LES baseras på antagandet att meshen, det vill säga beräkningsdomänen som innehåller cellerna, är tillräckligt förfinad för att tillåta formation av virvlar och turbulens. Det är dock endast den turbulens som är mindre än cellens karakteristiska diameter som modelleras. Större turbulens beräknas direkt. Det medför att fenomen som är större än cellstorleken återges direkt av programmet, medan allt som är mindre än den återges i submodeller (Dittmer & Jämtäng, 2006).

Detta innebär alltså att ju mindre celler som används desto mer liknar modellen verkligheten. Gridupplösningen, det vill säga antalet celler som beräkningsdomänen delas upp i, är den enskilt viktigaste numeriska parametern för beräkningens kvalitet (Frantzich & Nystedt, 2011).

Visningsläget i programmet, där visuella observationer över geometri och brandförlopp kan göras, går under namnet Smokeview.

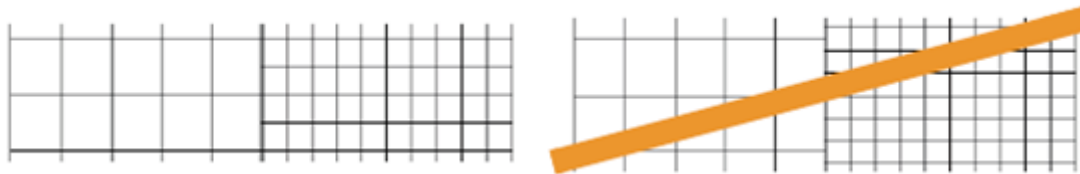
A.1.1 Generella villkor, begränsningar och osäkerheter

Osäkerheterna i FDS bygger till största del på vilken indata som väljs för simuleringarna och det är därför användaren som ansvarar för att välja indata som så väl som möjligt överensstämmer med ett verkligt brandförlopp. En central del i att få så representativa resultat som möjligt är som sagt att välja en bra cellstorlek.

För att minska simuleringstiden i FDS kan beräkningsdomänen, meshen, delas in i flera mindre mesher. Varje mesh delas in ytterligare i celler. Ju mindre cellstorlek desto fler celler får det plats i meshen. En mindre cellstorlek medför också som tidigare nämnt att resultaten blir mer verklighetstroga samt att simuleringstiden blir längre.

I en och samma mesh kan det endast förekomma en cellstorlek. Mindre cellstorlekar är att rekommendera i de mesher där intressanta flöden och turbulens vill fångas in, exempelvis där branden är placerad.

I denna rapportens simuleringar används en mindre cellstorlek i den mesh som innehåller branden. Mesherna som ligger en bit utanför brandområdet tilldelas en större cellstorlek för att spara simuleringstid. I gränserna mellan mesherna är det av största vikt att förhållandet ser ut enligt den vänstra delen av *figur A.1* (McGrattan et al., 2007).



Figur A.1 – Vänstra delen av figuren visar ett godkänt gränsförhållande mellan två mesher. Högra delen visar ett icke godkänt förhållande (Frantzich & Nystedt, 2011).

Programmets begränsningar, förenklingar och antaganden kan sammanfattas enligt nedan (Dittmer & Jämtäng, 2006; McGrattan et al., 2007; Frantzich & Nystedt, 2011):

- Medeltemperaturer i varje cell används.
- Gashastigheten i varje cell antas vara homogen.
- FDS ger otillförlitliga resultat på värmestrålning och temperaturökning i brandens närområde pga svårigheter att modellera själva flammen.
- Förbränningsmodellen har svårt att hantera underventilerade bränder.
- Mesher i programmet kan endast göra rektilinjära, vilket innebär att alla föremål i programmet måste vara rektangulära.
- Indata kan inte anges med sannolikhetsfördelningar utan fixa värden på brandens egenskaper (till exempel tillväxtfaktor och maxeffekt) måste anges.

A.1.2 Riktlinjer och giltighetsvillkor för validerade resultat

Förutom redan presenterade begränsningar och osäkerheter finns det specifika giltighetsvillkor för att resultaten ska hamna inom det validerade området. En del av dessa beskrivs i nedanstående avsnitt.

Det är betydelsefullt att den brand som simuleras i FDS specificeras av användaren och inte är en brand där FDS själv försöker beräkna effektutvecklingen. Det finns därför riktlinjer för branden och dess effektutveckling (Frantzich & Nystedt, 2011). En sådan riktlinje är den dimensionslösa effektutvecklingen Q^* som tas fram enligt *ekvation A.1*.

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D D^2} \quad (\text{A. 1})$$

där:

Q^* = Brandens karakteristiska effektutveckling [-]

\dot{Q} = Brandens effektutveckling [kW]

ρ_{∞} = Luftdensitet, 1,2 kg/m³

c_p = Värmekapacitet, 1,0 kJ/kg·K

T_{∞} = Temperatur hos omgivande luft, 293 K

g = Tyngdaccelerationen, 9,81 m/s²

D = Brandens diameter [m]

Q^* är ett mått på hur stark branden är i förhållande till sin yta. En gasbrännare har till exempel ett högt värde på Q^* , medan en brand som omfattar en hel byggnad har ett förhållandes lågt värde. Värdet på Q^* bör hållas inom intervallet 0,3-2,5 (Frantzich & Nystedt, 2011).

Det finns en stark koppling mellan den optimala cellstorleken i FDS och brandens storlek. Det finns ett sätt att beskriva brandens storlek med ett dimensionslöst tal, vilket relaterar till brandens effektutveckling. Detta tal kallas för brandens karakteristiska diameter och beräknas med hjälp av *ekvation A.2*.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (\text{A. 2})$$

där:

D^* = Brandens karakteristiska diameter [-]

I många fall är D^* jämförbar med brandens faktiska diameter. Effektiviteten hos

programmets lösningsmetod LES är beroende av kvoten mellan den karakteristiska diametern D^* och cellens storlek, dx , uttryckt i meter. Förenklat innebär detta att ju mindre cellstorlek, desto större kvot D^*/dx , vilket medför att en större andel av de branddynamiska beräkningarna kan lösas utan inbladning av empiriska submodeller, som är mindre precisa. Kvoten relaterar alltså brandens effektutveckling relaterat till beräkningsdomänens utformning (Frantzich & Nystedt, 2011).

Erfarenhet visar att en kvot på 5-10 ger tillfredsställande resultat. Dock ska det poängteras att kvoten i vissa fall bör vara 15-20, beroende av vilka brandfysikaliska egenskaper som är intressanta att studera. Nära branden, där det förekommer mycket flöden och turbulens, bör den vara 10-20. Det är framförallt i analyser där plymtemperaturer och värmetransport är viktigt som det krävs en finare cellstorlek. Analyser där det övre brandgaslagrets temperatur och höjd är centrala parametrar kan det tolereras en grövre upplösning (Frantzich & Nystedt, 2011).

Utöver kvoten D^*/dx är det viktigt att studera förhållandet mellan brandens storlek D^* och rumshöjden H , uttryckt i meter. Kvoten D^*/H indikerar plymens relativa betydelse för transport av brandgaser. Om D^*/H är litet ($< 0,5$) ska cellstorleken justeras så att D^*/dx blir större ≥ 15 (Frantzich & Nystedt, 2011).

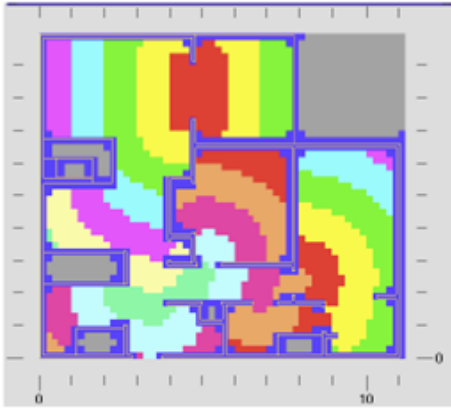
En koppling till hur vald indata i denna rapport förhåller sig till de tre ovan beskrivna giltighetsvillkoren ges i Bilaga B.

A.2 Simulex

Simulex är ett datorprogram som används för simulering av utrymning ur byggnader. Programmet syftar till att ge en bild av hur en utrymning med önskade egenskaper kan se ut och utifrån det uppskatta tiden det tar för personer att förflytta sig.

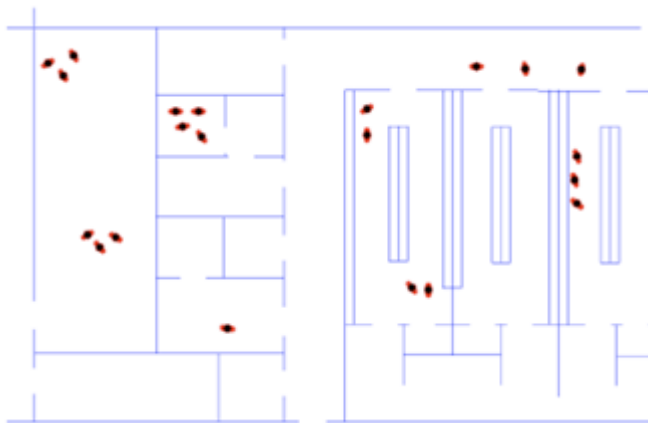
Programmet används i denna rapport för att simulera förflyttningstiden för personerna som befinner sig i samlingslokalen. Förflyttningstiden utgör en viktig del av den totala tiden till utrymning som jämförs med tiden till kritiska förhållanden.

Själva arbetsgången med programmet är att en ritning från ett CAD-program importeras till Simulex. Därefter definieras utrymningsvägar och programmet räknar därefter automatiskt ut alla gångavstånd. Resultatet av dessa beräkningar kan illustreras i en avståndsritning, se *figur A.2*.



Figur A.2 – Exempel på avståndsritning i Simulex (Leandersson, Olofsson, Thuns, & Wibelius, 2011).

Ett önskat antal personer placeras ut på valfria platser i ritningen, se *figur A.3*. Det går att ställa in önskade egenskaper hos dessa personer, bland annat gånghastighet och reaktionstid. Det går dessutom att ställa in vilken utgång en enskild person ska röra sig mot. De algoritmer som används för att beräkna personernas rörelsemönster baseras på data insamlade från verkliga utrymningsförsök.



Figur A.3 – Exempel på utplacering av personer i Simulex (Leandersson et al., 2011).

Personerna i simuleringen utgör en population. I programmet finns det en mängd färdiga populationer att välja mellan, se *figur A.4*. Varje population har en bestämd fördelning av personer. Dessa personer har i sin tur tilldelats varierande egenskaper rörande exempelvis gånghastighet (Frantzich, 1998).

Personkategori	% medelpersoner	% män	% kvinnor	% barn
Kontor	30	40	30	0
Pendlare	30	30	30	10
Varuhus	30	20	30	20
Skola	10	10	10	70
Äldre	50	20	30	0
Enbart män	0	100	0	0
Enbart kvinnor	0	0	100	0
Enbart barn	0	0	0	100

Figur A.4 – Exempel på fördefinierade populationer i Simulex (Frantzich, 1998).

Genom att starta en utrymningssimulering och spela in denna kan utrymningen studeras i detalj. Så kallade "flaskhalsar" och andra kritiska områden där det uppstår trängsel och köbildning kan därmed.

A.2.1 Generella villkor, begränsningar och osäkerheter

Programmet innehåller en del förenklingar av verkligheten, varav några listas nedan (Leandersson et al., 2011):

- Varje person tilldelas en normal, obehindrad gånghastighet.
- Personerna kan inte självmant välja en annan utgång under utrymningen än den de programmerats att välja. Detta kan innebära att det uppstår sådan trängsel att personerna inte kommer ut ur byggnaden.
- Varje person rör sig mot utgångarna i en riktning som ligger i rät vinkel mot konturerna på avståndsrutningen.

A.3 Detact T2

Detact T2 är ett datorprogram som används för simulering av tid till detektion för olika typer av anordningar. Exempel på sådana anordningar är sprinklerhuvuden och värmedetektorer. Programmet tar hänsyn till rumshöjden, avståndet mellan anordningarna, rumstemperaturen, detektionstemperatur, tillväxthastighet hos branden samt RTI-värdet (Response Time Index, värmekänsligheten hos anordningens värmeelement). Programmet baseras på korrelationer utifrån storskaliga experiment och löser flera integraler och ekvationer för att förutsäga aktiveringstiden (Aragón, Rey, & Chica, 2008).

Detact T2 beräknar en plym från branden till taket och därefter en så kallad takstråle till detektorn. Temperaturen i denna takstråle beräknas och jämförs med hjälp av RTI, som alltså ger en fördröjning, med temperaturen på detektorns värmeelement. Detektionstemperaturen anges antingen som en maximal temperatur eller som en differential temperatur, alltså en viss höjning per tidsenhet.

Tillväxthastigheten för branden anges vilket påverkar brandflödet som i sin tur påverkar transporttiden till anordningen. De standardiserade tillväxthastigheterna slow, medium, fast och ultrafast finns inprogrammerade samt att det finns en möjlighet att ange en egen tillväxthastighet genom ett α -värde till en αt^2 -brand.

Programmet kan också användas för att göra en grov uppskattning av aktiveringstiden för rökdetektorer genom att använda ett väldigt lågt RTI-värde och en aktiveringstemperatur på 13 °C högre än ursprungstemperaturen. Detta betraktas som ett konservativt värde då det visat sig att nyare rökdetektorer aktiverar vid något lägre temperaturökningar (Nilsson & Holmstedt, 2008).

A.3.1 Generella villkor, begränsningar och osäkerheter

Ett lågt RTI motsvarar en mycket snabb responstid. Ingen hänsyn tas dock till vilken typ av material som brinner och vilken rökpotential materialet har. Detta medför att resultatet är förenat med vissa osäkerheter. Exempel på ytterligare begränsningar med programmet listas nedan (Aragón et al., 2008):

- Innertaket är helt plant och oändligt stort, det vill säga det tas ingen hänsyn till ansamling av brandgaser under taket.
- Innertaket saknar hinder som påverkar brandgasernas utbredning.
- Endast konvektiv värmeutbredning beaktas, ledningsförluster och strålningsvärme beaktas ej.
- Temperaturer kan underskattas vid låga innertak och korta radiella avstånd.

Resultaten från Detact T2 får ses som en fingervisning om hur lång tid det tar till dess att detektorn aktiverar snarare än någon exakt återgiven verklighet.

Bilaga B – Indata till datorprogram

I denna bilaga presenteras indata till de datorprogram som använts i analysen.

B.1 FDS

I Bilaga A tas det upp tre giltighetsvillkor, framtagna av Frantzich och Nystedt (2011) för att få resultat som hamnar inom det validerade området i FDS. Dessa återges i korthet i *tabell B.1*:

Tabell B.1 – Giltighetsvillkor för det validerade området.

Q^*	D^*/dx	D^*/H
0,3-2,5	5-10 generellt 10-20 nära branden	< 0,5 om inte cellstorleken ska behöva justeras till ≥ 15

I denna rapport simuleras totalt tre brandförlopp. Dessa tre simuleringar tilldelas egenskaper som gör att de förhåller sig till giltighetsvillkoren enligt *tabell B.2*:

Tabell B.2 – Simuleringarnas överrensstämmelse med giltighetsvillkoren. Grön färg indikerar att villkoret är uppfyllt. Röd färg indikerar att villkoret ej uppfylls.

Brandscenario	D^*	dx	Q^*	D^*/dx	D^*/H
10 MW-brand	2,409	Nära branden: 15 cm Längre bort: 30 cm	0,75	Nära branden: 16,06 Längre bort: 8,03	0,535
2 MW - brand	1,265	Nära branden: 10 cm Längre bort: 20 cm	1,33	Nära branden: 12,65 Längre bort: 6,325	0,281
Sprinklerbrand	1,033	Nära branden: 10 cm Längre bort: 20 cm	0,80	Nära branden: 10,33 Längre bort: 5,165	0,229

D^*/H -villkoret uppfylls alltså inte i fallen med de två mindre bränderna. Detta beror på att brandens storlek är för liten i förhållande till den aktuella takhöjden. För att hamna inom giltighetsområdet krävs det att mycket fina cellstorlekar används vilket resulterar i långa simuleringstider. Detta görs inte i analysen på grund av tidsbrist.

Den effekt detta får på resultaten är att flamtemperaturen kan underskattas, samtidigt som flammhöjden kan överskattas¹. Dessa svagheter anses vara av ringa betydelse för resultaten i denna analys, eftersom det i första hand är siktbarheten som blir det dimensionerande kriteriet.

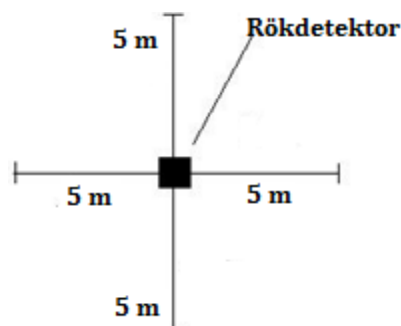
¹ Johan Norén, Brandingenjör och civilingenjör i Riskhantering, BRIAB, telefonmöte, 2012-10-04.

B.2 Detact T2

Detact T2 behöver indata rörande bland annat takhöjd och radiellt avstånd till anordning enligt *bilaga A*.

B.2.1 Rökdetektor

Erfordrad indata till Detact T2 för beräkning av aktiveringstid för rökdetektor följer teorin i *bilaga A* och sammanfattas i *tabell B.3*. Det radiella avståndet är satt konservativt till det mest ogynnsamma scenariot för verkningsytan 100 kvadratmeter enligt *figur B.1*.

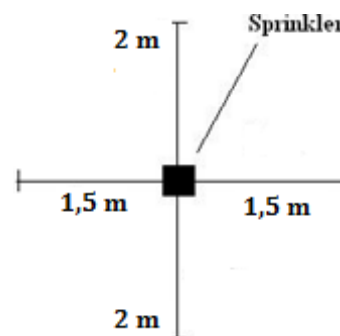


Figur B.1 – Verkningsyta och avstånd.

Parameter	
Omgivningstemperatur	20 °C
RTI-värde	0,5 m ^{0,5} s ^{0,5}
Aktiveringstemperatur	33 °C
Takhöjd	4,5 m
Radiellt avstånd	5 m
Tillväxthastighet för branden	0,047 kW/s ² (Fast)

B.2.2 Sprinkler

Erfordrad indata till Detact T2 för beräkning av aktiveringstid för sprinkler följer teorin i *bilaga A* och sammanfattas i *tabell B.4*. Det radiella avståndet är satt konservativt till det mest ogynnsamma scenariot för verkningsytan 12 kvadratmeter, enligt *figur B.2*.



Figur B.2 – Verkningsyta och avstånd.

Tabell B.4 – Indata till Detact T2 för sprinkler.

Parameter	
Omgivningstemperatur	20 °C
RTI-värde	50 m ^{0,5} s ^{0,5}
Aktiveringstemperatur	68 °C
Takhöjd	4,5 m
Radiellt avstånd	2 m
Tillväxthastighet för branden	0,047 kW/s ² (Fast)

Eftersom samtliga brandscenarier har samma tillväxthastighet och att detta är den enda brandparameter som det tas hänsyn till i Detact T2 är det tillräckligt med en simulering för rökdetektor respektive sprinkler.

Bilaga C – Tidskriteriet bakom den analytiskt dimensionerade lokalen

I denna bilaga redovisas hur den analytiskt dimensionerade lokalen har skapats utifrån de allmänna råd som anges i BBRAD.

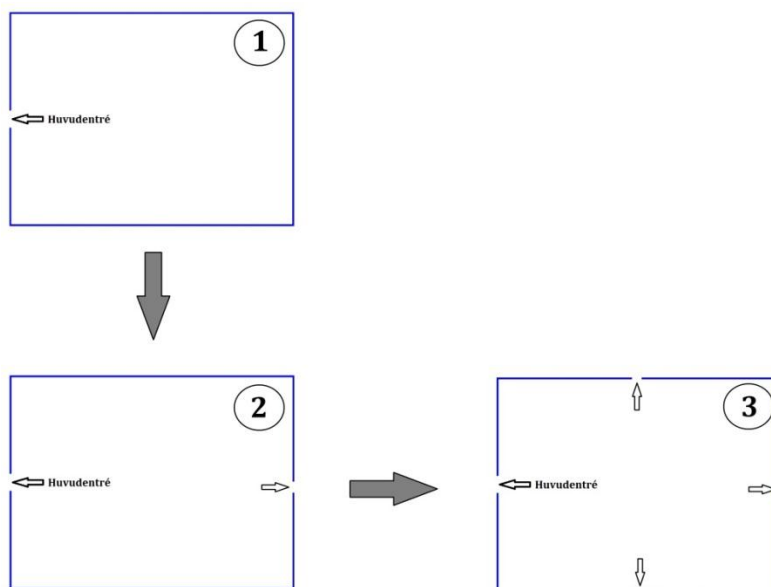
C.1 Förutsättningar

Den analytiskt dimensionerade lokalen bör, enligt BBRAD, klara av ett så kallat robusthetsscenario. Robusthetsscenariot innebär att de tekniska systemen som lokalen är försedda med görs otillgängliga var och ett för sig, samtidigt ska utrymningen genomföras på ett tillfredsställande sätt.

Eftersom lokalen i denna rapport är utrustad med ett automatiskt sprinklersystem och ett automatiskt brandlarmsystem är det just dessa system som görs otillgängliga samtidigt som ett mindre brandförlopp tillåts utvecklas i lokalen. Det aktuella brandförloppet som används för att verifiera lokalens robusthet följer det allmänna råd som anges i BBRAD och representeras av en snabbt växande brand med maximal effektutveckling på 2 MW.

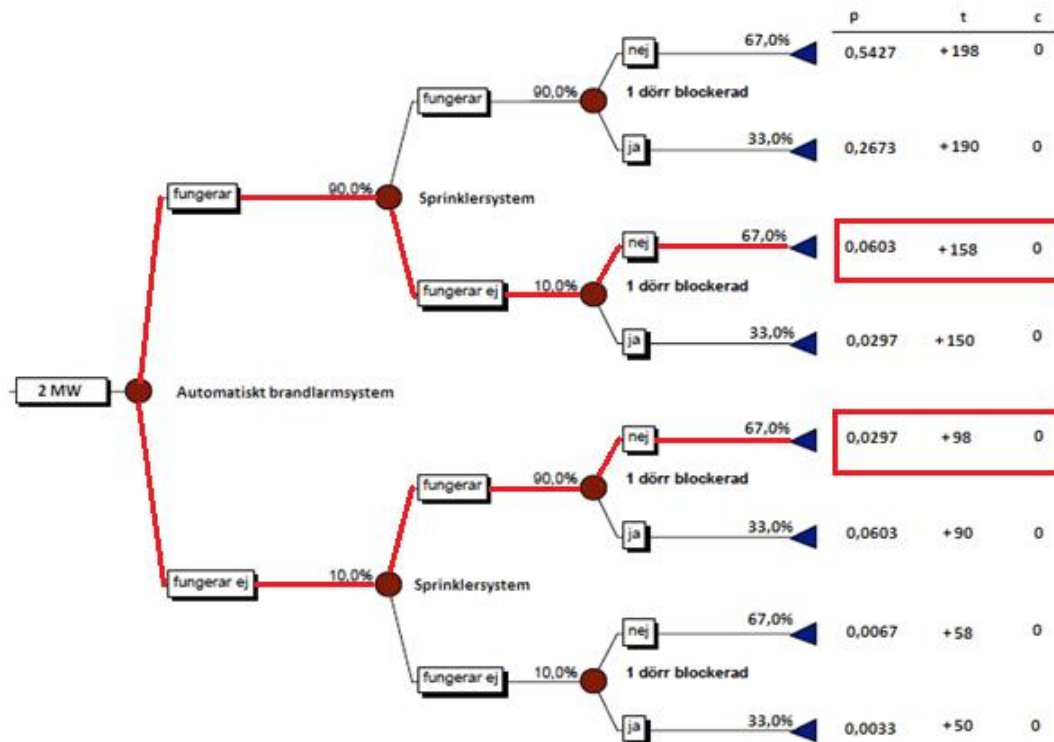
Med dessa förutsättningar måste lokalen förses med tillräckliga utrymningsvägar så att den totala utrymningstiden blir kortare än tiden till det att kritiska förhållanden uppstår i lokalen. Fastställandet av hur många utrymningsvägar som måste finnas och var de ska vara placerade för att uppnå en positiv tidsmarginal görs genom prövning i en så kallad itereringsprocess.

I figur C.1 visas en enkel schematisk bild över den itereringsprocess som görs. Processen startar med en lokal med endast en huvudentré, steg 1 i figur C.1. Därefter förses lokalen successivt med fler och fler utrymningsvägar, steg 2 i figur C.1. När tidsmarginalen till slut blir positiv är utrymningsvägarna tillräckliga och den analytiskt dimensionerade lokalen får sitt slutliga utseende, steg 3 i figur C.1.



Figur C.1 – Schematisk bild över itereringsprocessen.

I figur C.2 presenteras händelseträdet för 2 MW-branden och de givna förutsättningar som gäller för robusthetsscenariot är markerade med rött. De inringade positiva tidsmarginalerna indikerar, som tidigare nämnts, att lokalens utformning är tillfredsställande enligt vad som anges i BBRAD.



Figur C.2 – Händelsetråd för 2 MW-branden där robusthetsscenariots givna förutsättningar är markerade med rött.

Bilaga D – Resultat från gjorda simuleringar

I denna bilaga redovisas de resultat från gjorda datorsimuleringar som utgör grunden för den jämförande analysen. Resultat delas upp mellan förenklad dimensionering och analytisk dimensionering.

D.1 Förenklad dimensionering

I detta avsnitt presenteras simulerade resultat för den förenklade dimensionerade lokalen.

D.1.1 Brandgaslagrets höjd

För att analysera när brandgaslagret har sjunkit ner till en nivå på 2 meter över golvet har visuella observationer gjorts i Smokeview. I figur D.1 redovisas en principbild över hur detta förfarande har gått till.



Figur D.1 – Visuell observation från Smokeview.

D.1.2 Siktbarhet

I följande avsnitt presenteras samtliga diagram över siktbarheten för olika brandförlopp och mätpunkter.

D.1.2.1 10 MW-brand

I diagram D.1 till D.6 presenteras siktbarheten vid de olika utrymningsvägarna för 10 MW-branden.

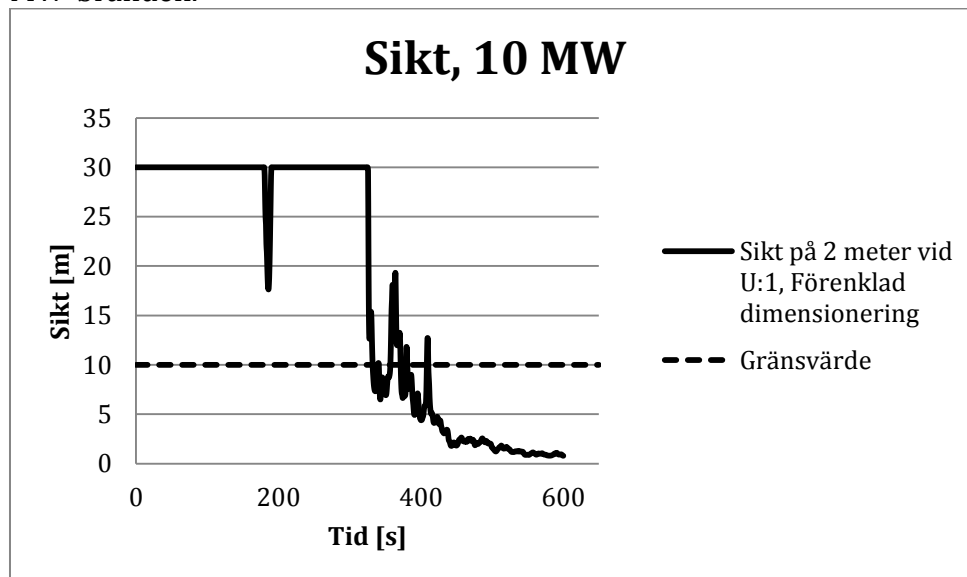


Diagram D.1 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:1.

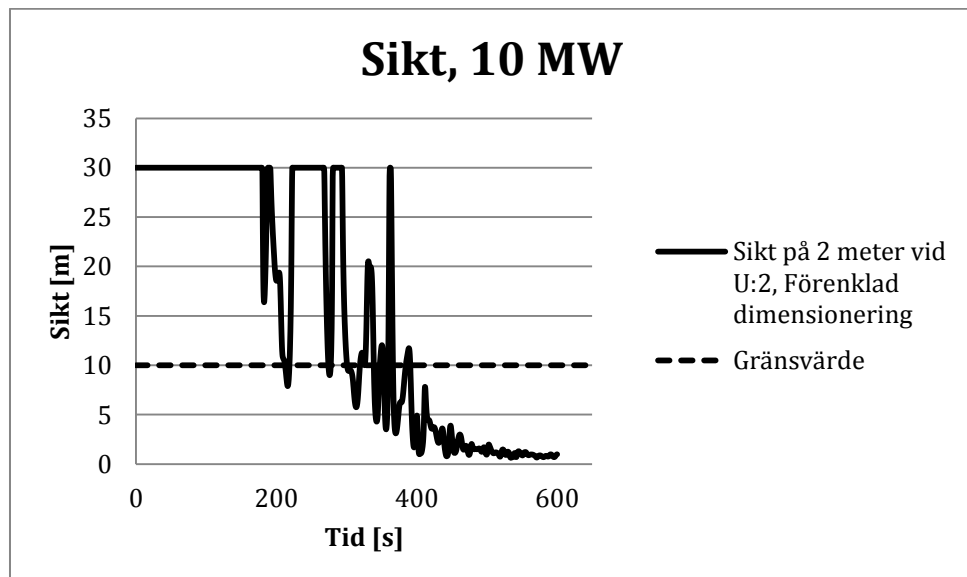


Diagram D.2 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:2.

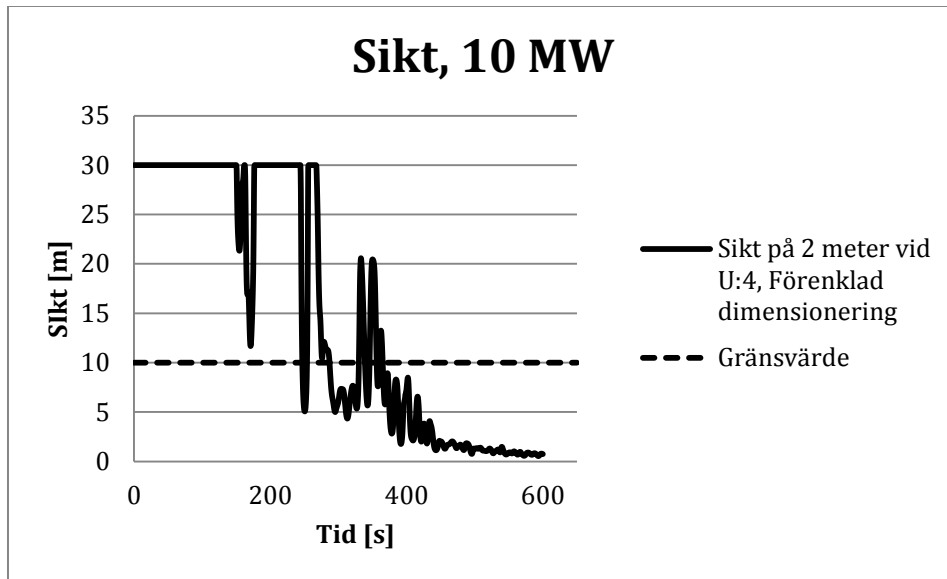


Diagram D.3 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:4.

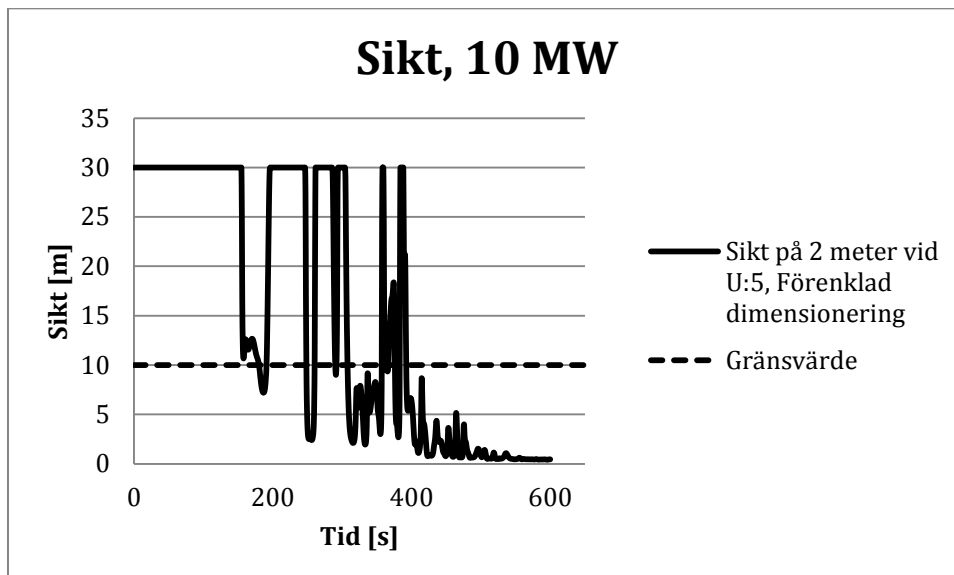


Diagram D.4 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:5.

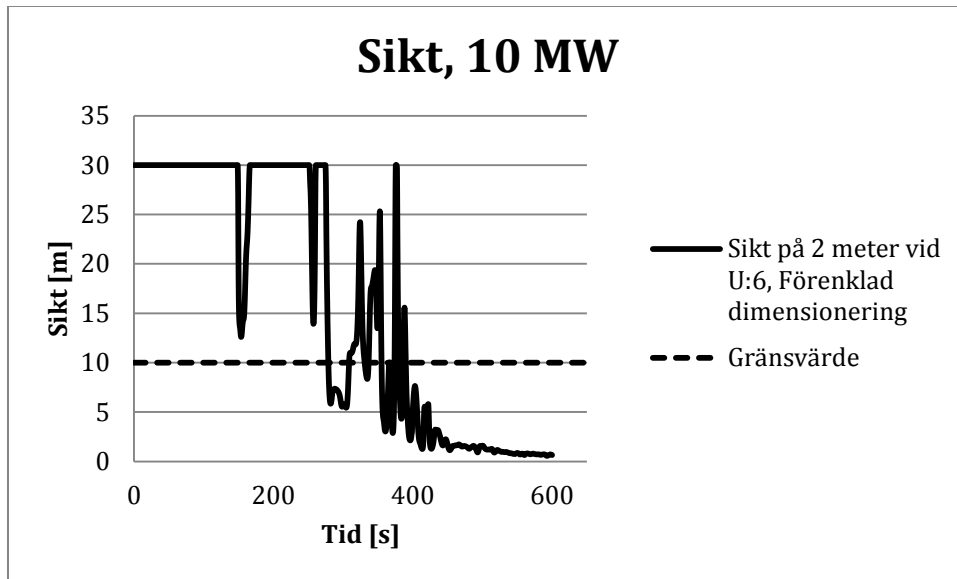


Diagram D.5 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:6.

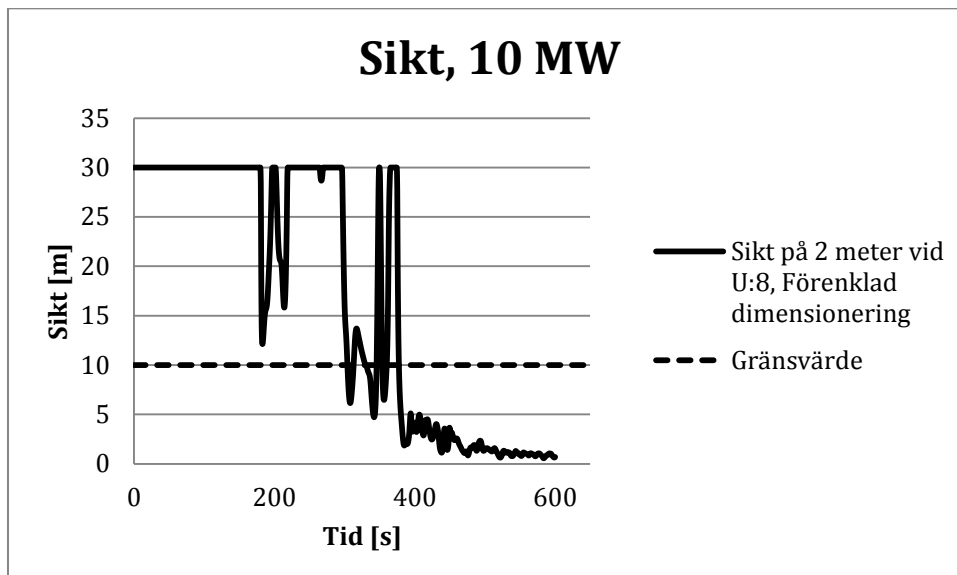


Diagram D.6 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:8.

D.1.2.2 2 MW-brand

I diagram D.7 till D.12 presenteras siktbarheten vid de olika utrymningsvägarna för 2 MW-branden.

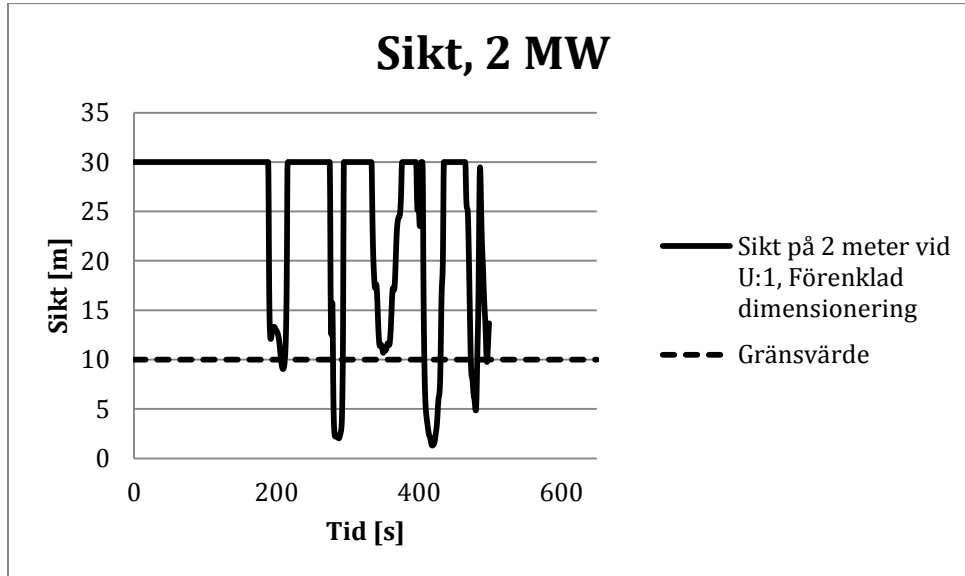


Diagram D.7 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:1.

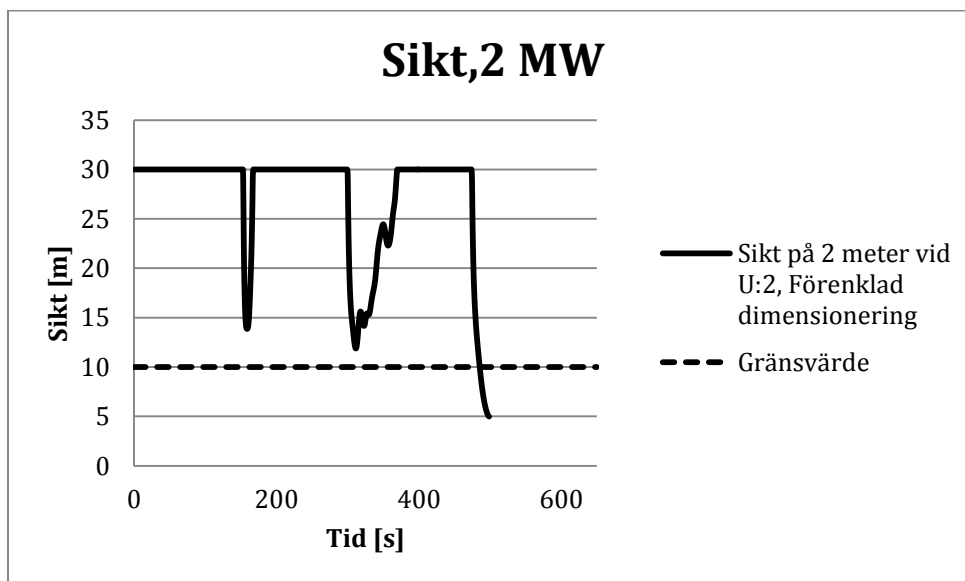


Diagram D.8 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:2.

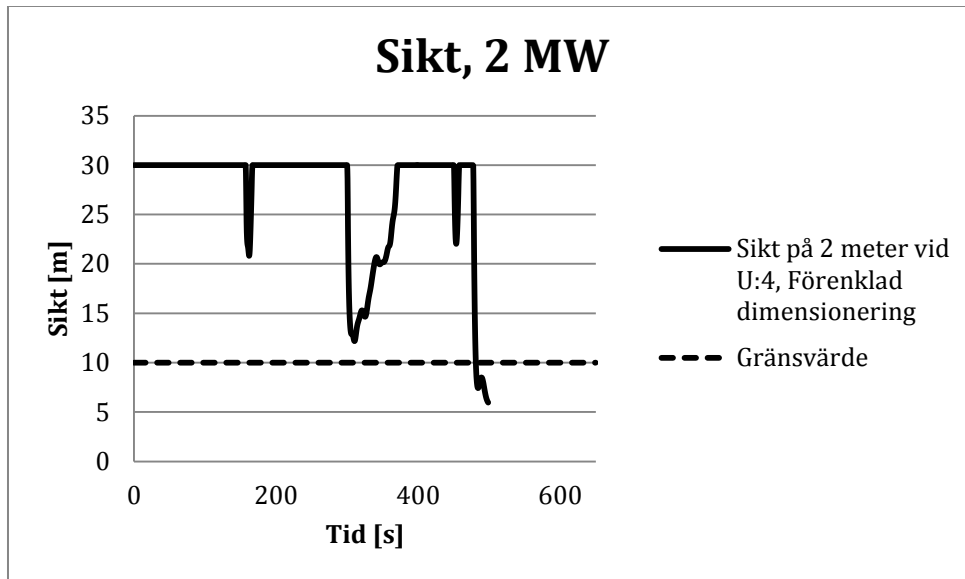


Diagram D.9 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:4.

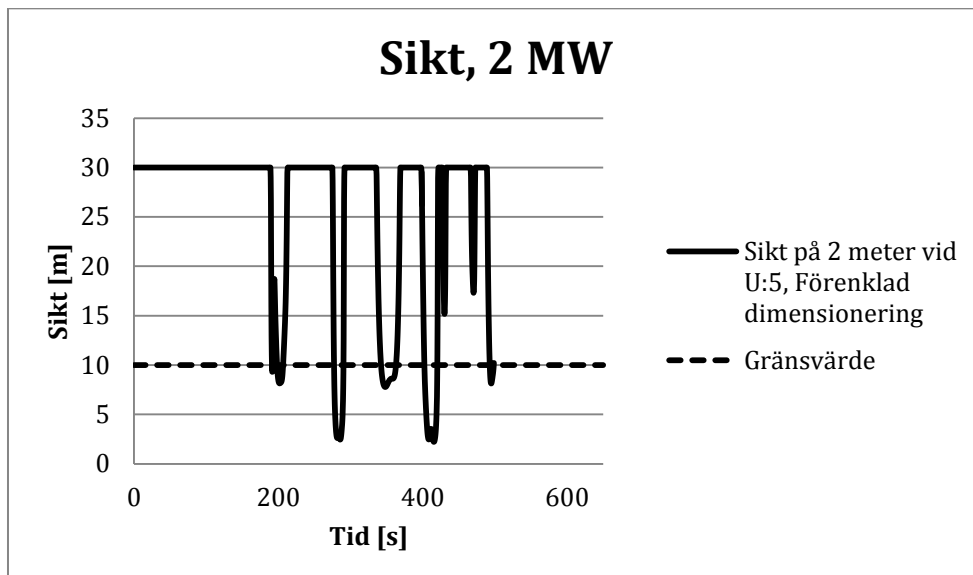


Diagram D.10 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:5.

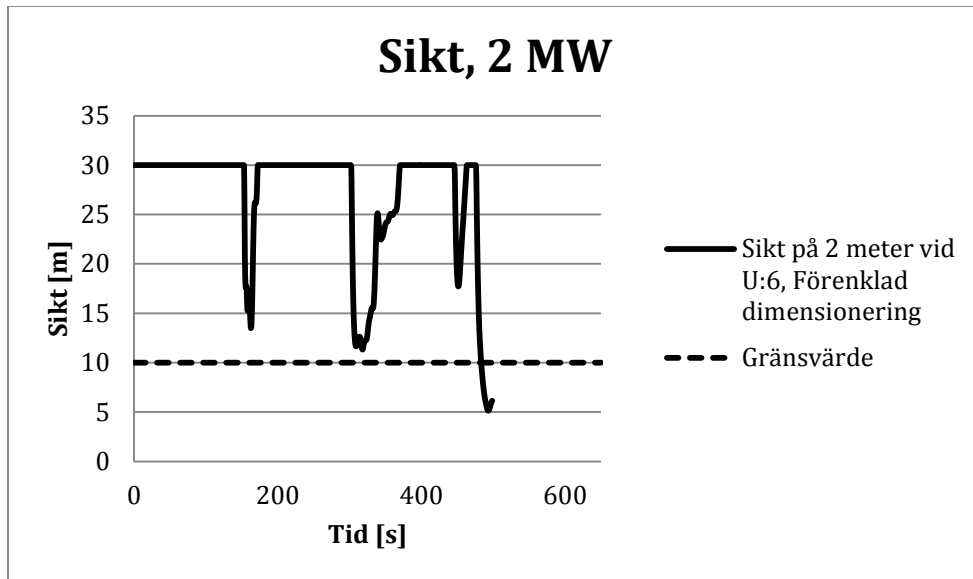


Diagram D.11 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:6.

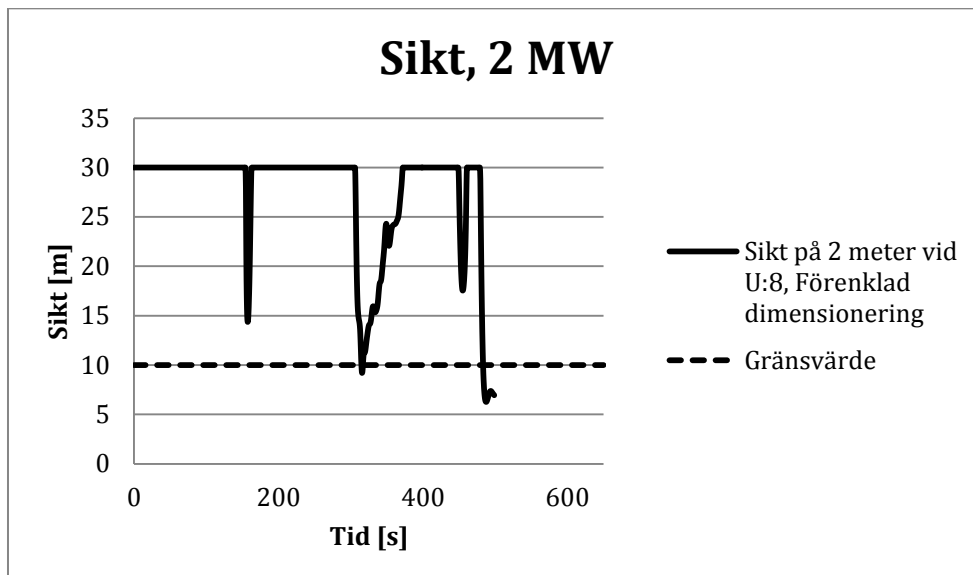


Diagram D.12 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:8.

D.1.3 Temperatur

I *diagram D.13* och *D.14* presenteras temperaturen för respektive simulering på 2 meters höjd. Mätningarna är gjorda mellan branden och bortre kortsidan enligt *figur 8.1*.

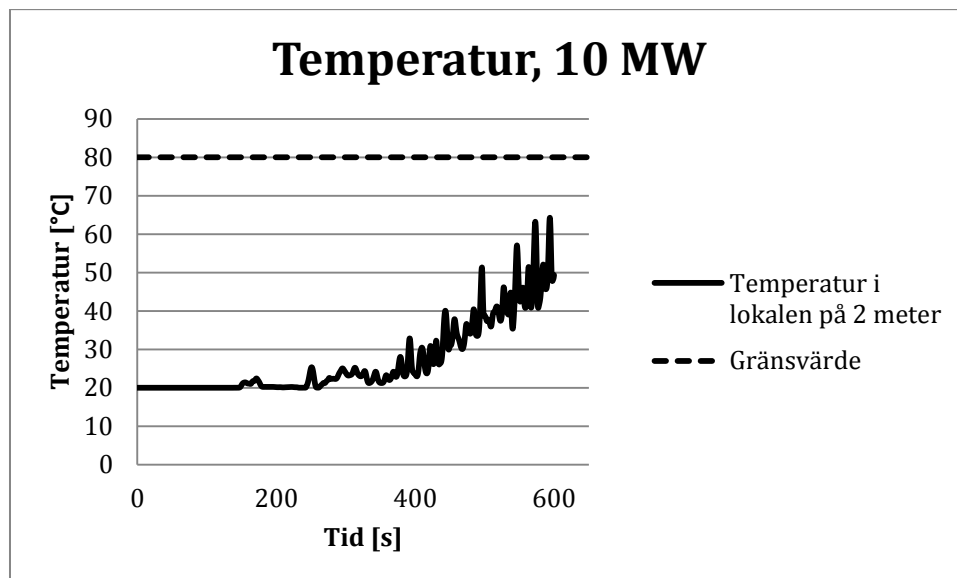


Diagram D.13 – Temperaturen på 2 meters höjd i lokalen.

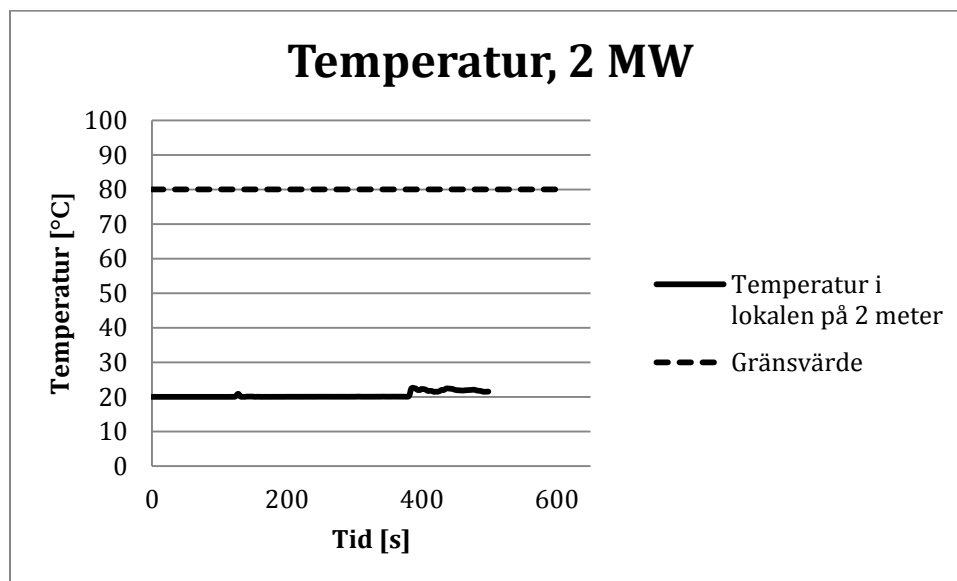


Diagram D.14 – Temperaturen på 2 meters höjd i lokalen.

D.1.4 Värmestrålning

För att kontrollera att strålningsintensiteten från brandgaslagret inte överstiger de kritiska $2,5 \text{ kW/m}^2$ som anges i BBRAD redovisas här en grov strålningsberäkning. Den infallande strålningen från brandgaslagret som de utrymmande personerna utsätts för beräknas enligt *ekvation D.1* (Drysdale, 2000).

$$\dot{q}'' = \emptyset \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{D. 1})$$

där:

\dot{q}'' = Strålningsintensitet, ≤ 2500 , [W/m^2]

\emptyset = Synfaktor, 1, [-]

ε = Emissionsfaktor, 1, [-]

σ = Stefan Boltzmann konstant, $5,67 \cdot 10^{-8}$, [$\text{W/m}^2\text{K}^4$]

T = Brandgaslagrets temperatur, [K]

Brandgaslagret antas stråla som en svart kropp och därför sätts emissionsfaktorn till ett. Det antas också att brandgaserna kommer täcka hela takytan i lokalen och synfaktorn sätts därför också till ett. De antaganden som görs är konservativa.

Eftersom strålningen inte får överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$ används detta värde som gränsvärde och temperaturen som brandgaslagret inte får överstiga räknas ut med *ekvation D.2*.

$$T = \left(\frac{\dot{q}''}{\emptyset \varepsilon \sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \rightarrow T = 185^\circ\text{C} \quad (\text{D. 2})$$

För att strålningen från brandgaslagret mot de utrymmande ska nå en kritisk nivå krävs det att temperaturen i brandgaserna är minst 185°C . Enligt resultaten från gjorda simuleringar blir brandgaserna aldrig så varma och därför kommer inte de utrymmande personerna att utsättas för kritisk strålning. Inga strålningsberäkningar från flaman görs eftersom kritiska nivåer snabbt uppstår i denna region. Vidare antas det att personerna i byggnaden undviker brandens direkta närhet innan de utsätts för kritiska nivåer.

D.1.5 Toxicitet

I diagram D.15 till D.18 presenteras koldioxidkoncentrationen och syrgaskoncentrationen för respektive simulering på 2 meters höjd. Mätningarna är gjorda mellan branden och ena kortsidan enligt figur 8.1.

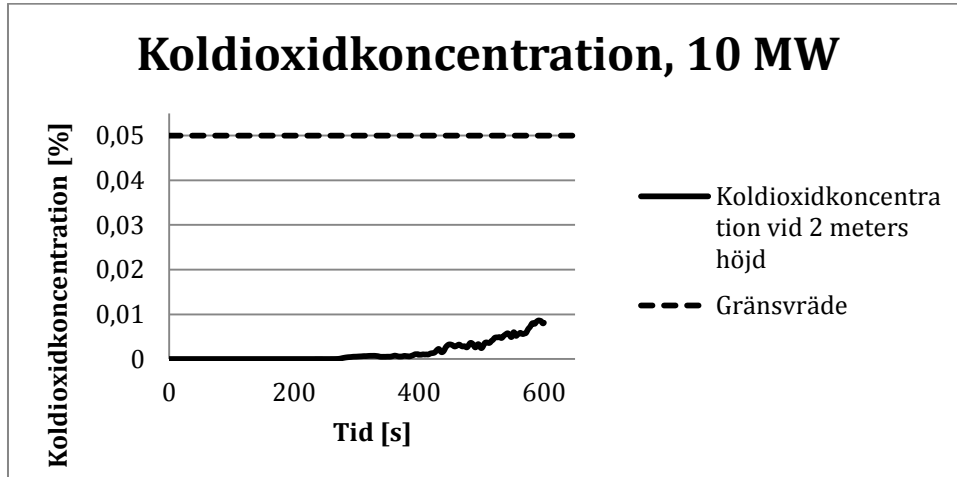


Diagram D.15 – Koldioxidkoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

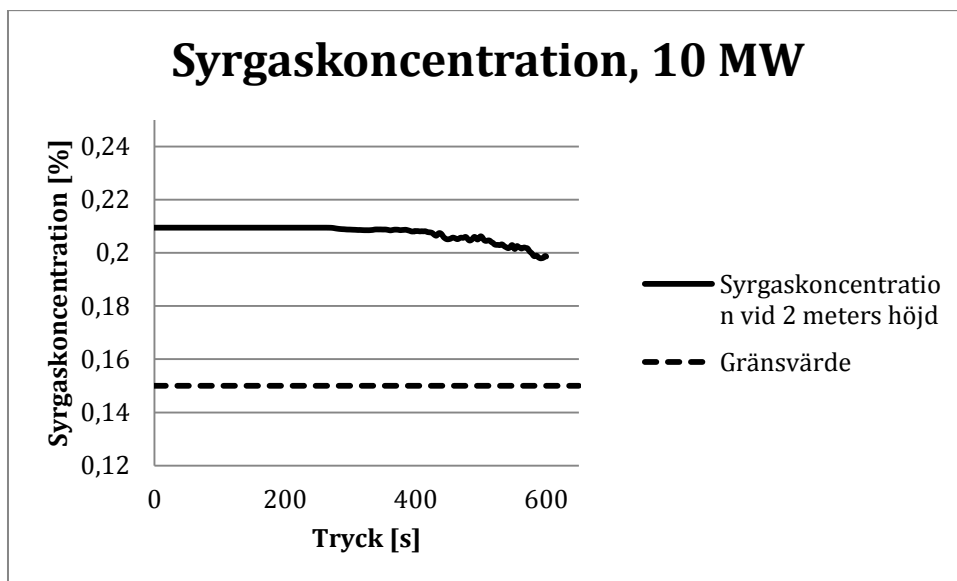


Diagram D.16 – Syrgaskoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

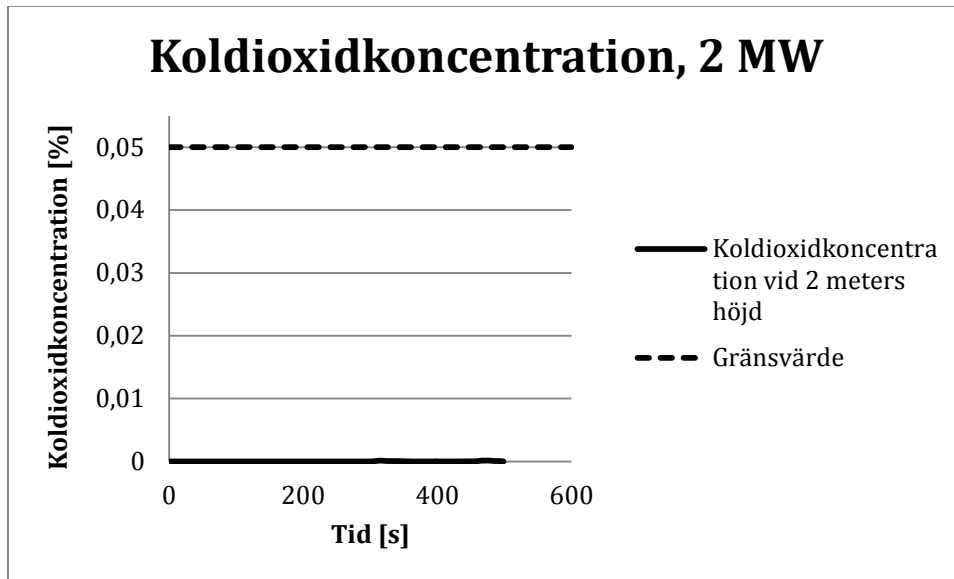


Diagram D.17 – Koldioxidkoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

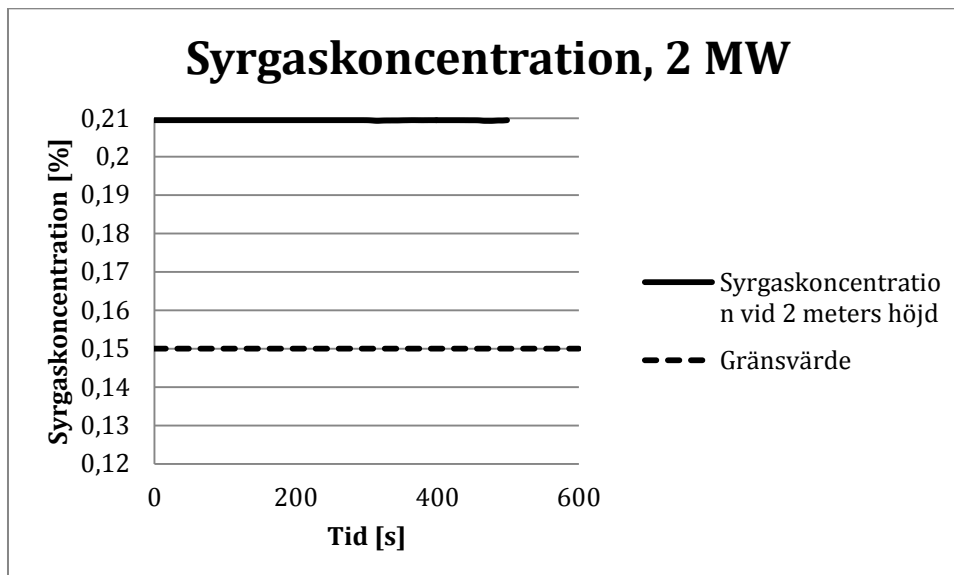


Diagram D.18 – Syrgaskoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

D.2 Analytisk dimensionering

I detta avsnitt presenteras simulerade resultat för den analytiskt dimensionerade lokalen.

D.2.1 Brandgaslagrets höjd

Samma tillvägagångssätt som för den förenklade dimensioneringen, se *avsnitt D.1.1*.

D.2.2 Siktbarhet

I följande avsnitt presenteras samtliga diagram över siktbarheten för olika brandförlopp och mätpunkter.

D.2.2.1 10 MW-brand

I *diagram D.19* till *D.22* presenteras siktbarheten vid de olika utrymningsvägarna för 10 MW-branden.

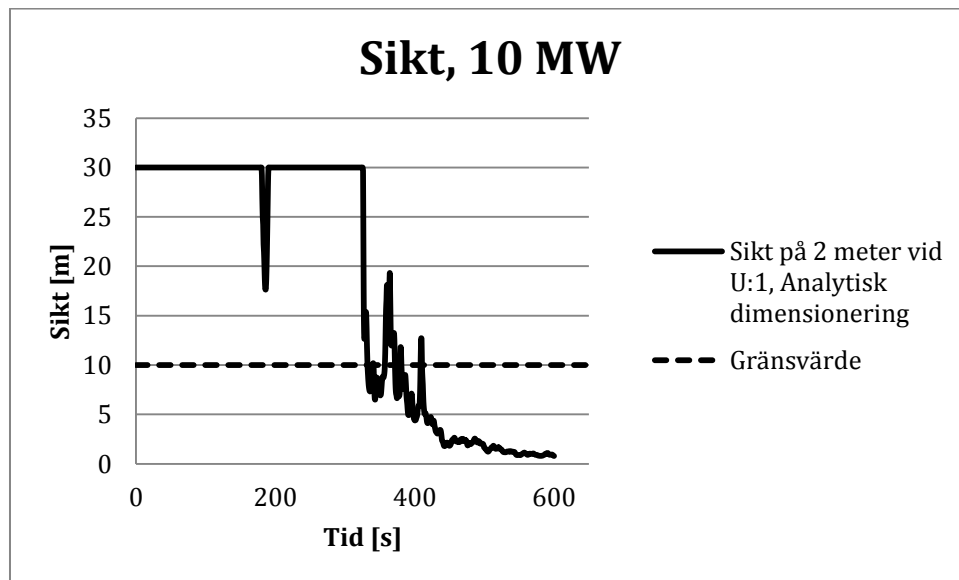


Diagram D.19 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:1.

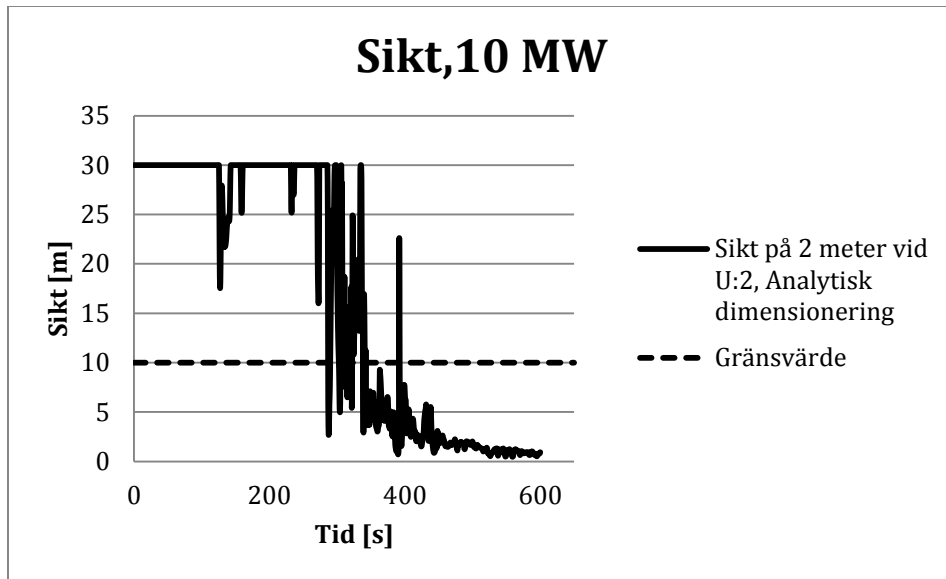


Diagram D.20 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:2.

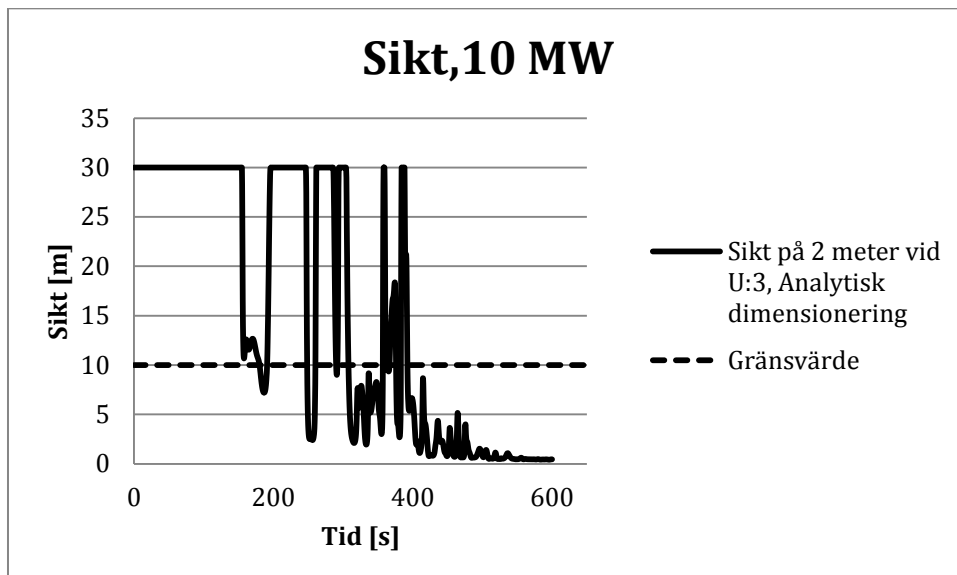


Diagram D.21 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:3.

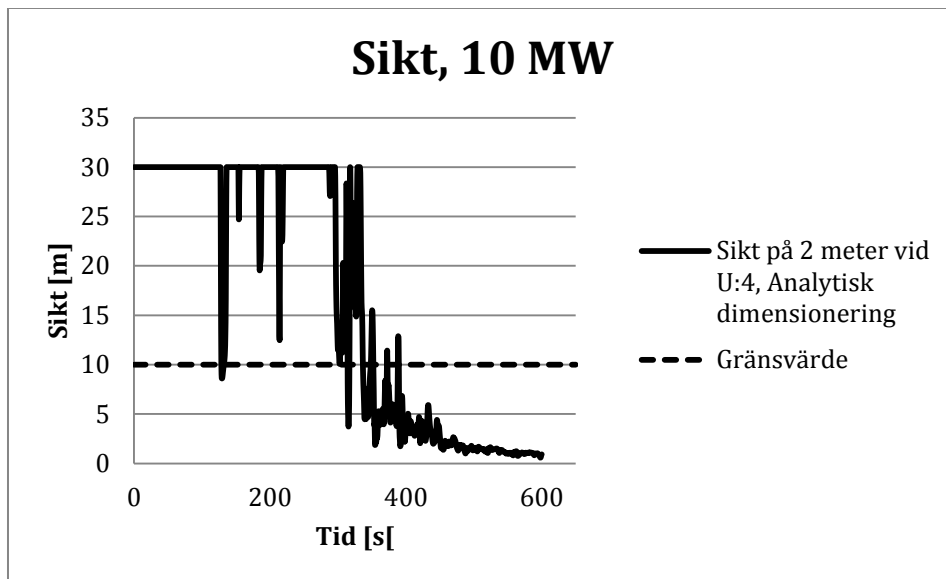


Diagram D.22 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:4.

D.2.2.2 2 MW-brand

I diagram D.23 till D.26 presenteras siktbarheten vid de olika utrymningsvägarna för 2 MW-branden.

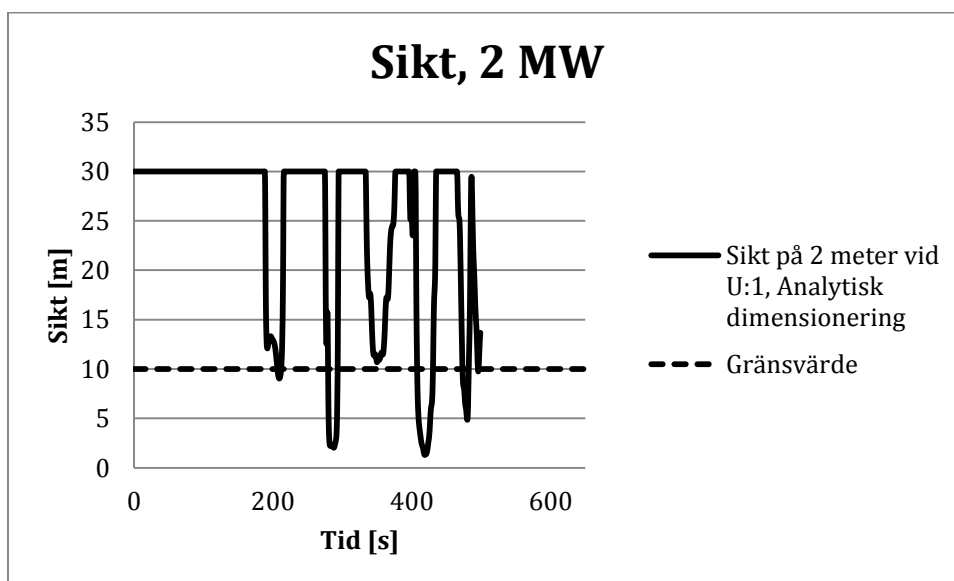


Diagram D.23 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:1.

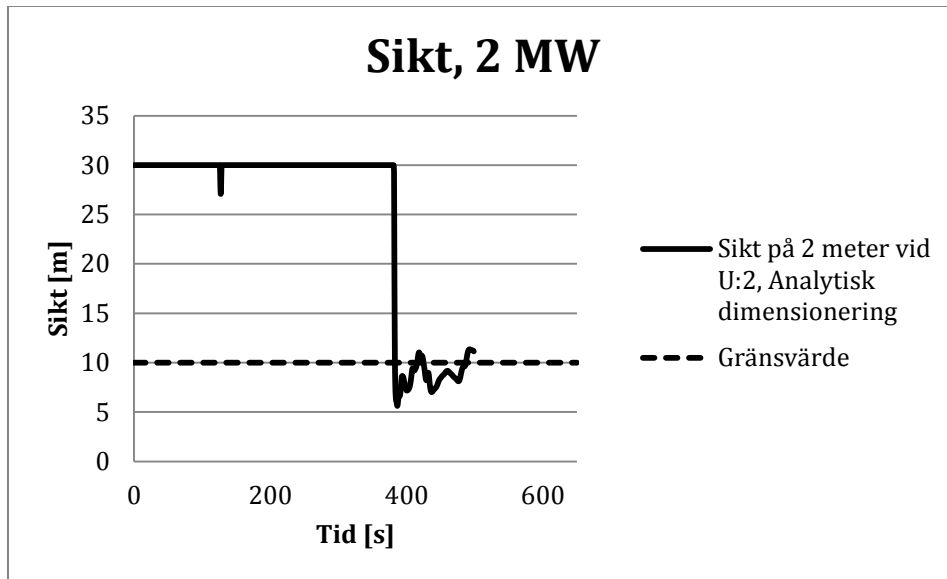


Diagram D.24 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:2.

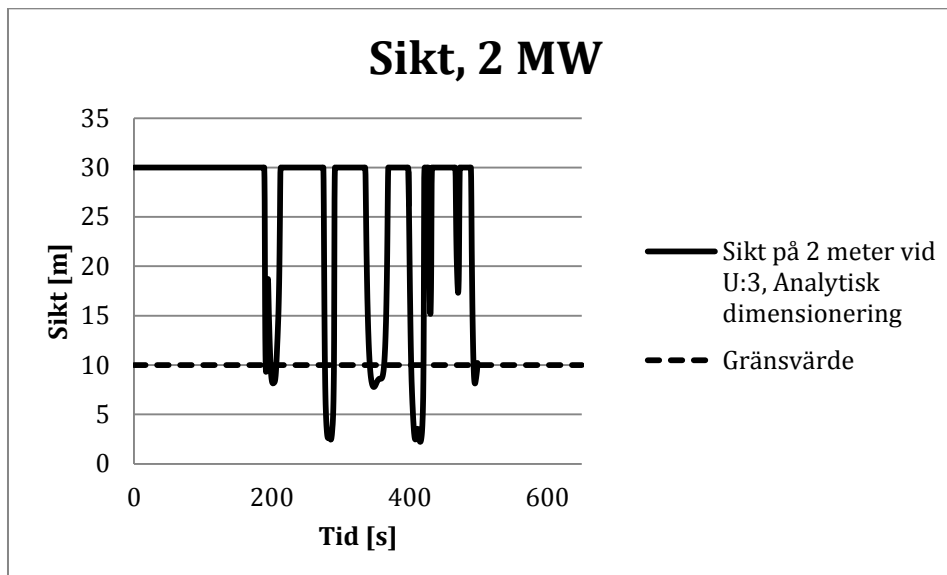


Diagram D.25 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:3.

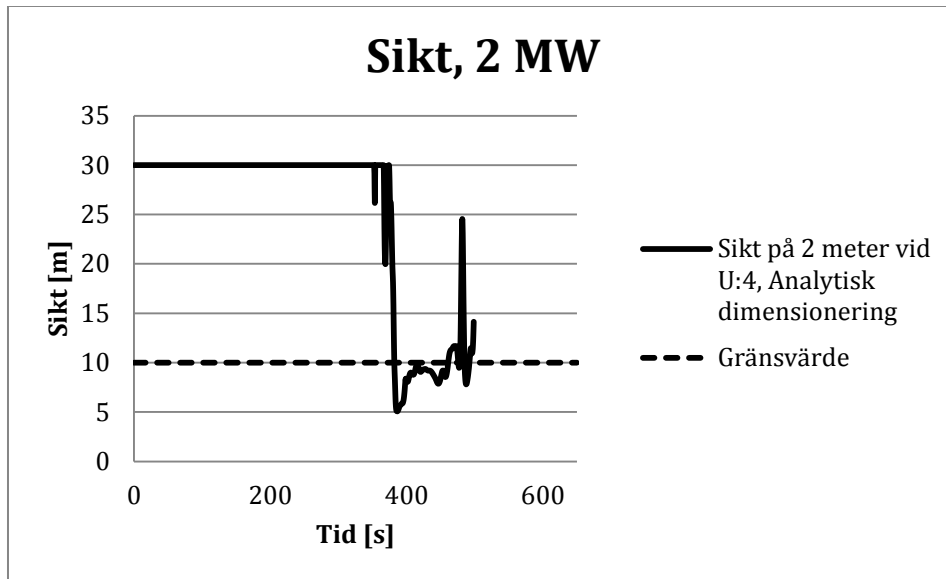


Diagram D.26 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:4.

D.2.2.3 Sprinklerbrand

I diagram D.27 till D.30 presenteras siktbarheten vid de olika utrymningsvägarna för sprinklerbranden.

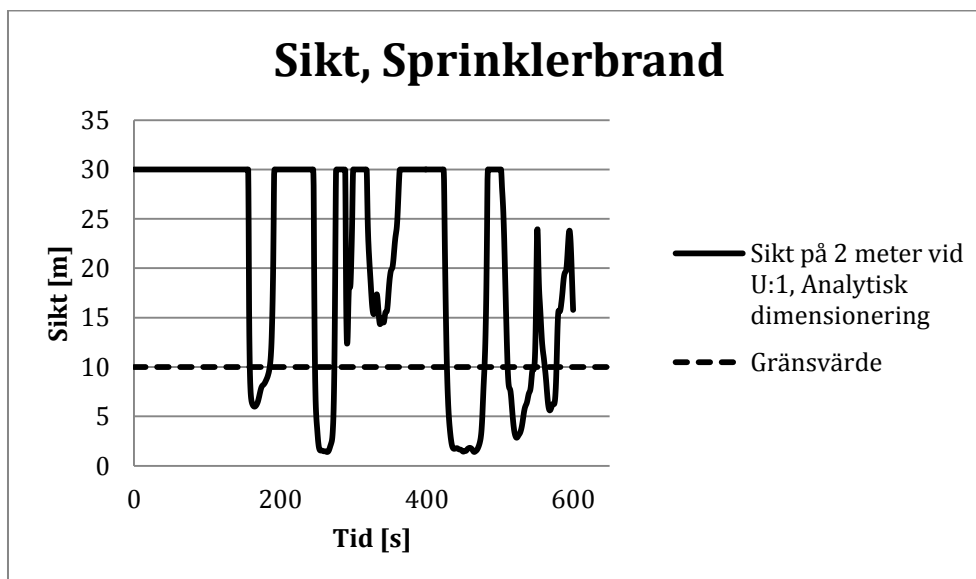


Diagram D.27 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:1.

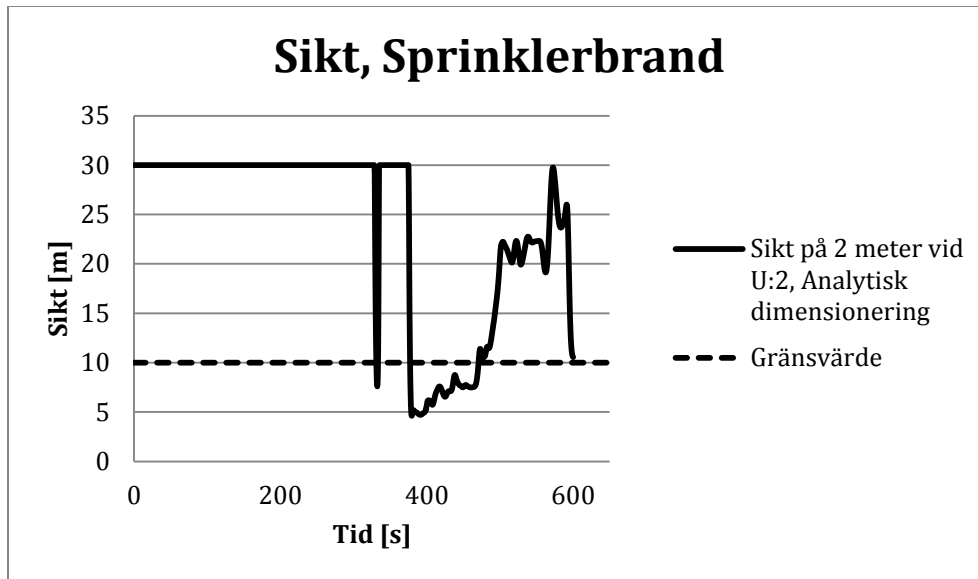


Diagram D.28 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:2.

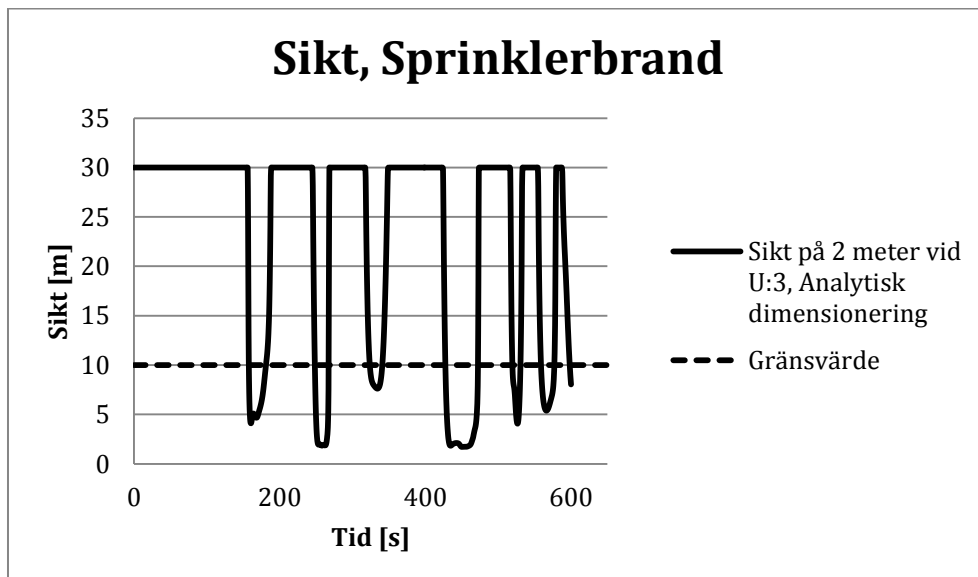


Diagram D.29 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:3.

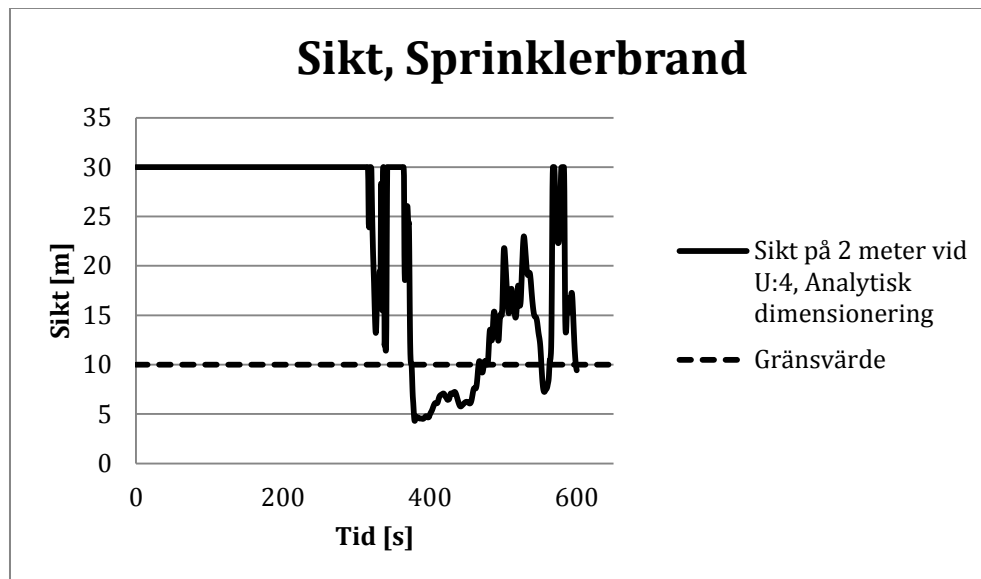


Diagram D.30 – Siktbarheten på 2 meters höjd vid U:4.

D.2.3 Temperatur

I *diagram D.31 till D.33* presenteras temperaturen för respektive simulering på 2 meters höjd. Mätningarna är gjorda mellan branden och ena kortsidan enligt *figur 8.5*.

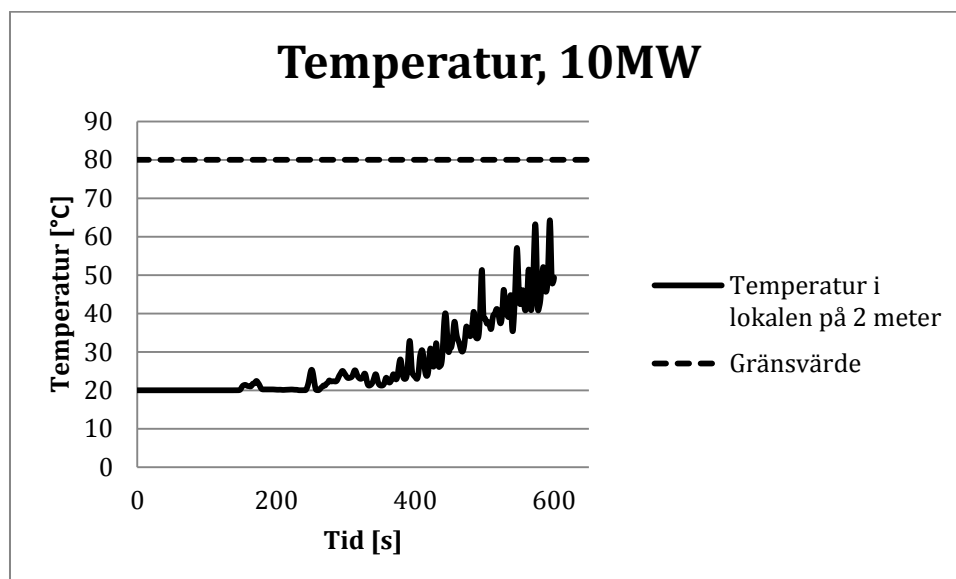


Diagram D.31 – Temperaturen på 2 meters höjd i lokalen.

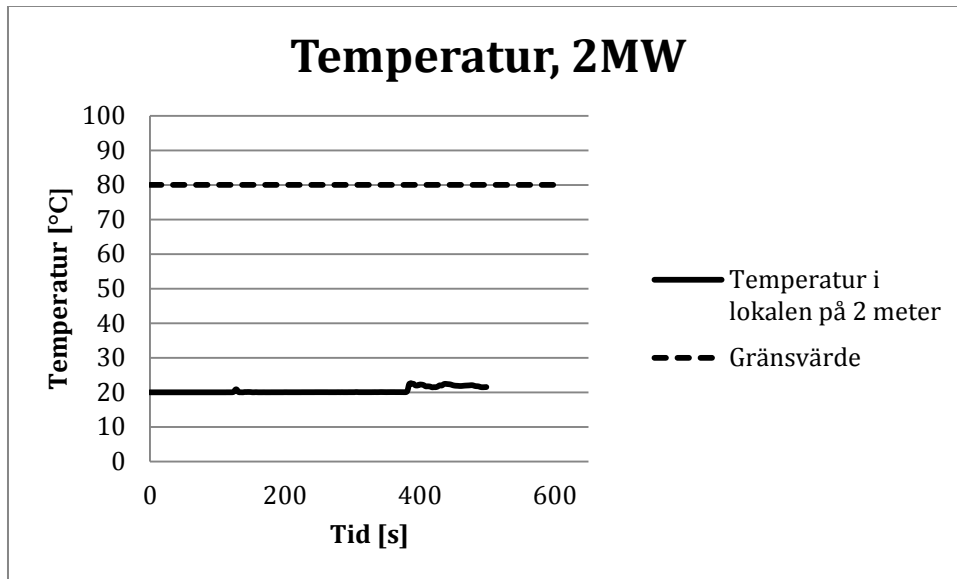


Diagram D.32 – Temperaturen på 2 meters höjd i lokalen.

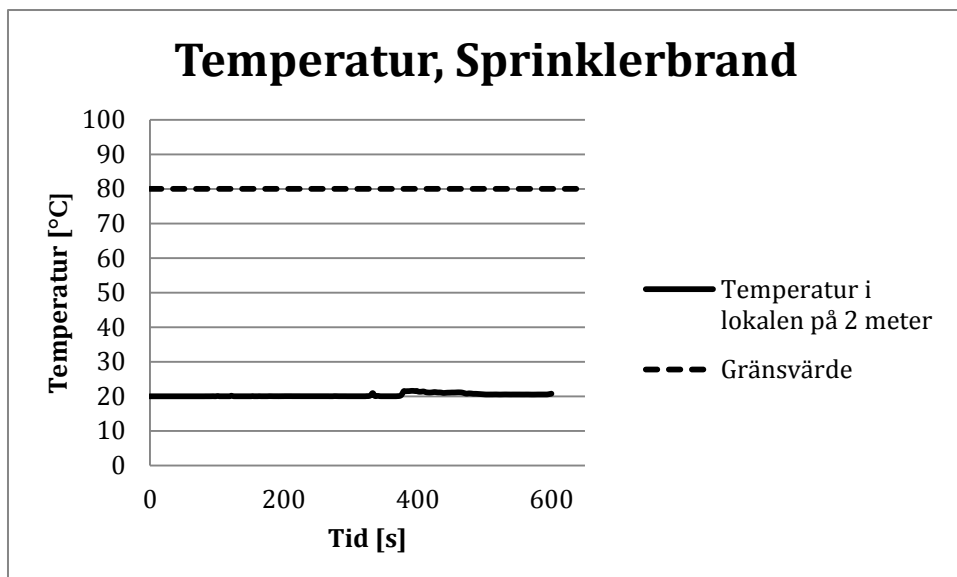


Diagram D.33 – Temperaturen på 2 meters höjd i lokalen.

D.2.4 Värmestrålning

Samma tillvägagångssätt som för den förenklade dimensioneringen, se *avsnitt D.1.4*.

D.2.5 Toxicitet

I diagram D.34 till D.39 presenteras koldioxidkoncentrationen och syrgaskoncentrationen för respektive simulering på 2 meters höjd. Mätningarna är gjorda mellan branden och ena kortsidan enligt figur 8.5.

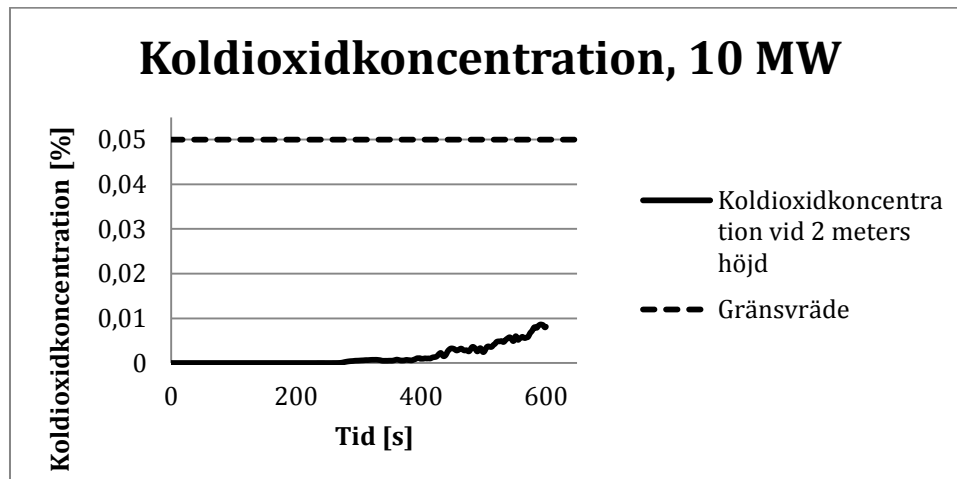


Diagram D.34 – Koldioxidkoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

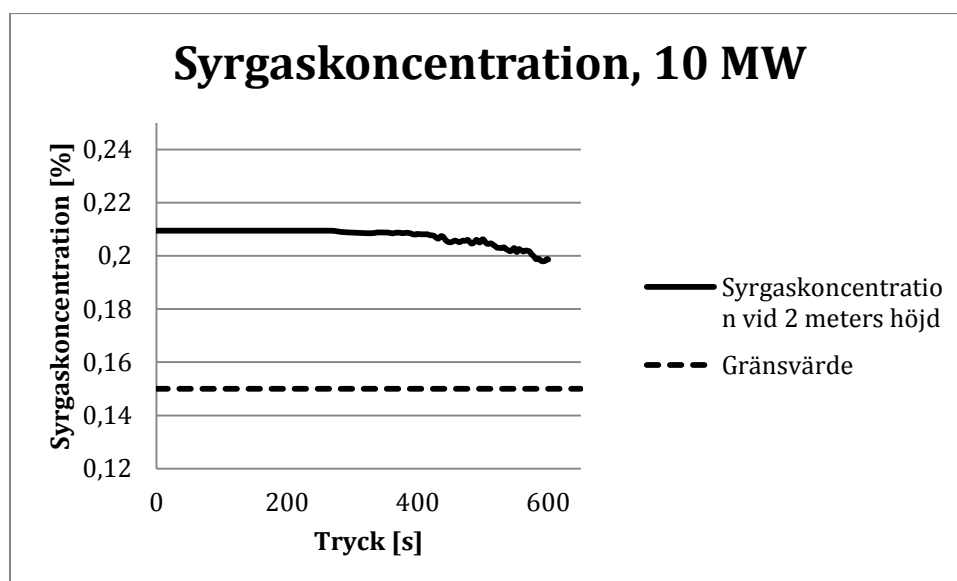


Diagram D.35 – Syrgaskoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

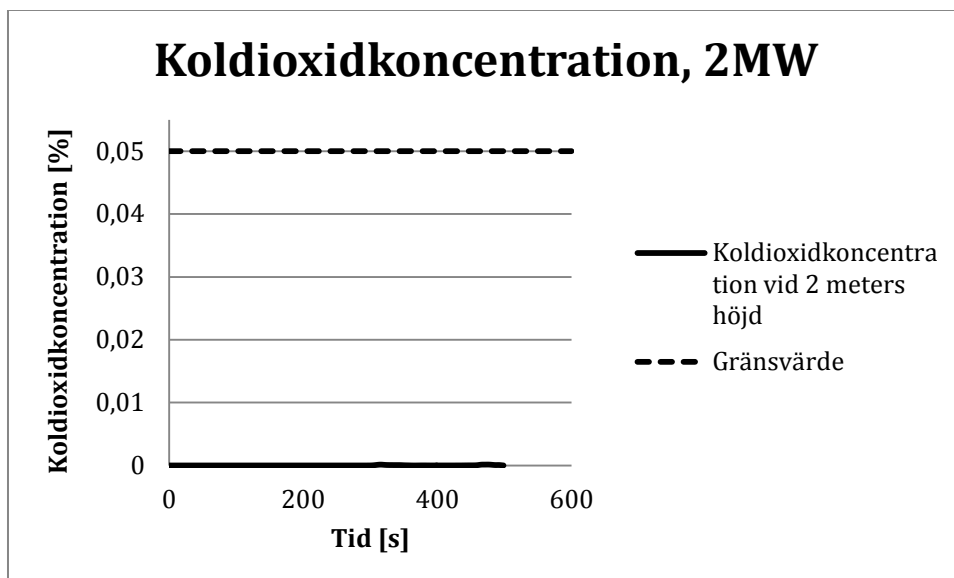


Diagram D.36 – Koldioxidkoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

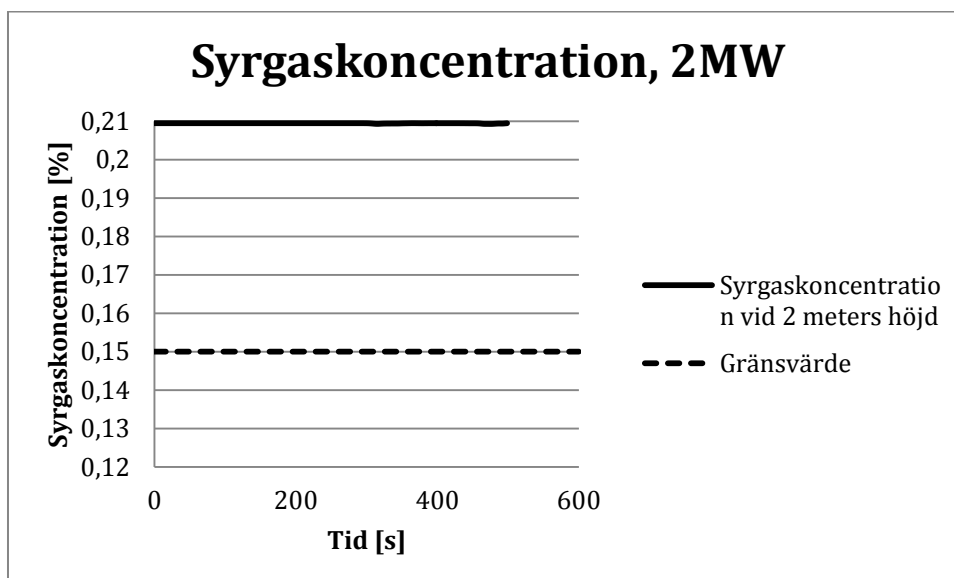


Diagram D.37 – Syrgaskoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

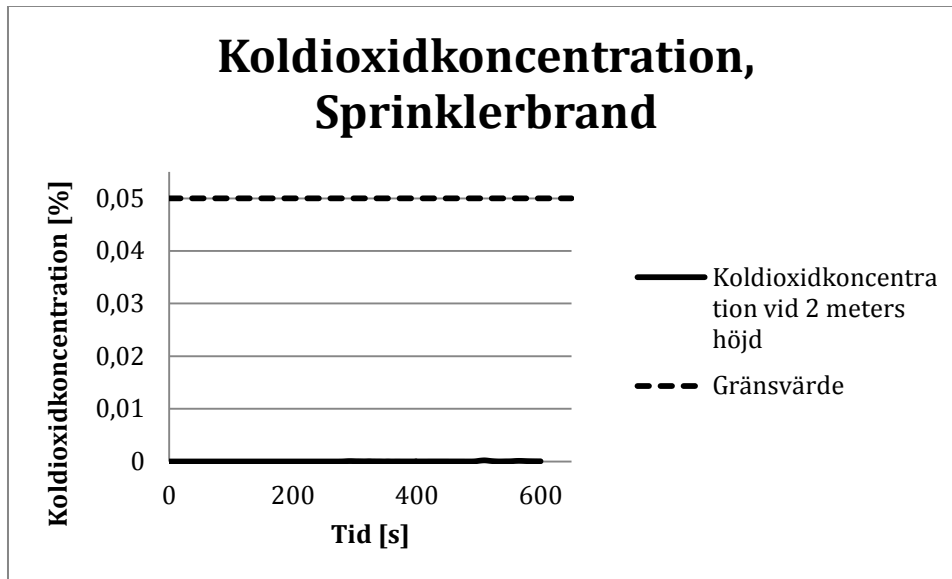


Diagram D.38 – Koldioxidkoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

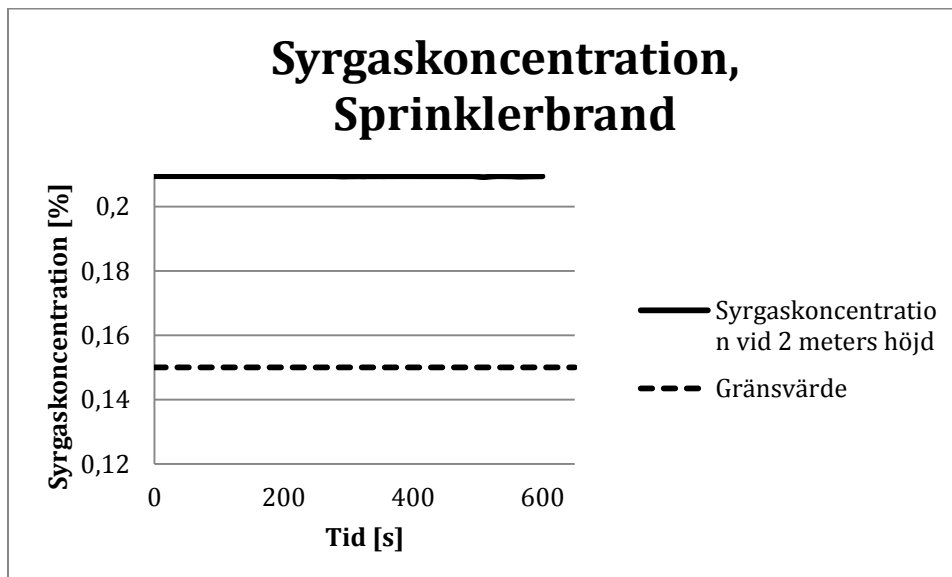


Diagram D.39 – Syrgaskoncentrationen på 2 meters höjd i lokalen.

Bilaga E – Resultat känslighetsanalys

I denna bilaga redovisas resultaten från den känslighetsanalys som görs genom att sänka takhöjden från 4,5 till 3 meter.

E.1 Aktiveringstider anordningar

I tabell E.1 presenteras de nu tidigare aktiveringstiderna för rökdetektor och sprinkler.

Tabell E.1 – Aktiveringstider för olika anordningar

Typ	Aktiveringstid [s]
Rökdetektor	70
Sprinkler	144

E.2 Tid till kritiska förhållanden

Precis som i analysen blir brandgaslagrets höjd i kombination med siktbarheten det kombinationskriterium som uppnås först och därmed blir dimensionerande.

Brandgaslagrets höjd är nere på en kritisk nivå efter cirka 100 sekunder.

I tabell E.2 till E.7 presenteras tiderna till kritisk sikt för de olika brandscenarierna och utförandena.

Tabell E.2 – Tid till kritisk sikt vid förenklad dimensionering, 10 MW-branden

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	210
U:2	180
U:4	180
U:5	185
U:6	180
U:8	180

Tabell E.3 – Tid till kritisk sikt vid analytisk dimensionering, 10 MW-branden.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	210
U:2	150
U:3	185
U:4	150

Tabell E.4 – Tid till kritisk sikt vid förenklad dimensionering, 2 MW-branden.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	213
U:2	185
U:4	185
U:5	190
U:6	185
U:8	185

Tabell E.5 – Tid till kritisk sikt vid analytisk dimensionering, 2 MW-branden.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	213
U:2	160
U:3	190
U:4	160

Tabell E.6 – Tid till kritisk sikt vid förenklad dimensionering, sprinklerbrand.

Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	168
U:2	135
U:4	135
U:5	140
U:6	133
U:8	133

Tabell E.7 – Tid till kritisk sikt vid analytisk dimensionering, sprinklerbrand.

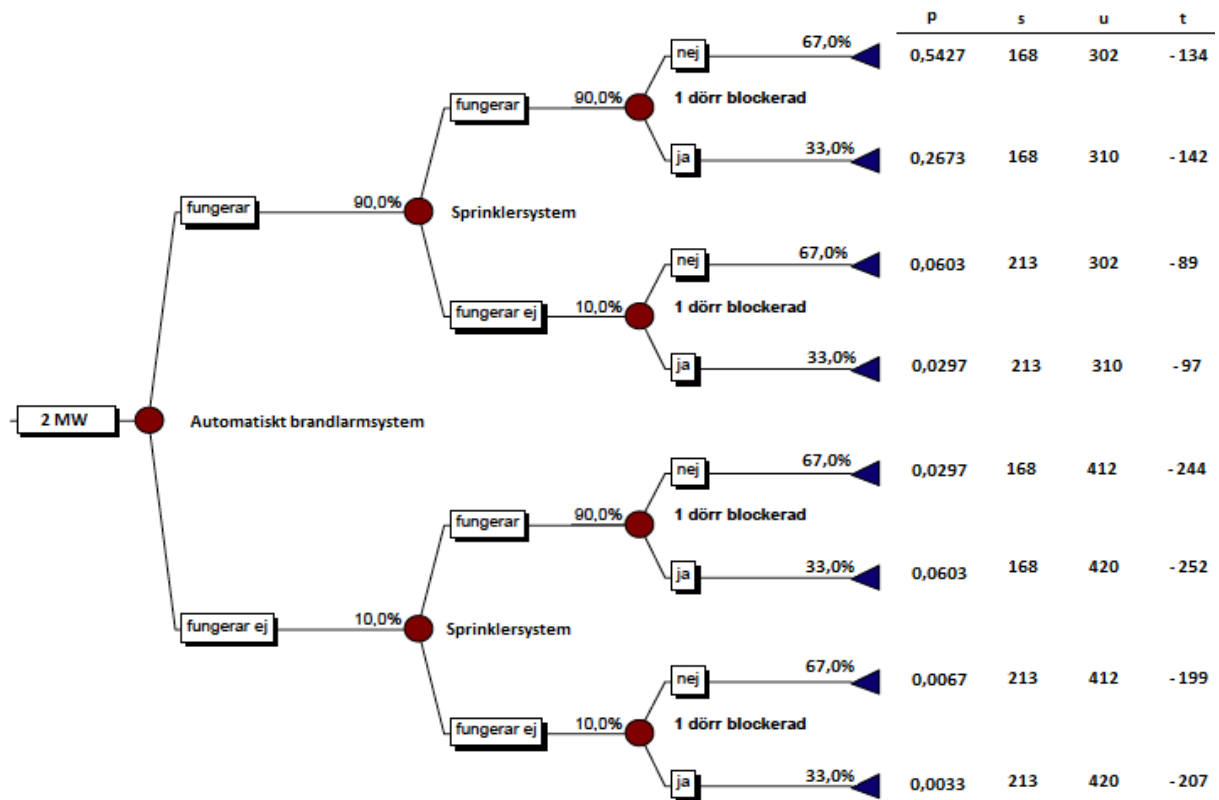
Utrymningsväg	Tid till kritisk sikt [s]
U:1	168
U:2	120
U:3	140
U:4	125

E.3 Tid för utrymning

Utrymningsförloppet ser ut på samma sätt som i den jämförande analysen, med det undantaget att utrymningslarmet aktiverar tidigare och därmed sänker varseblivningstiden i de fall då det automatiska brandlarmsystem fungerar som det ska.

E.4 Händelseträd

I figur E.1 visas 2 MW-brandens händelseträd för det analytiska utförandet. Det ses att detta robusthetsscenario, med felfungerande enskilda tekniska system, inte kan uppfyllas med den lägre takhöjden utan att ytterligare brandskyddslösningar installeras, exempelvis brandgasventilation eller fler utrymningsvägar.



Figur E.1 – Händelseträd över 2 MW-bränden.

Bilaga F – Scriptfil FDS

I denna bilaga redovisas en av de scriptfiler som använts som läsfil vid en av de gjorda rökfyllnadssimuleringarna.

Scriptfilen som presenteras är den för 2 MW-branden med cellstorlekar på 10 och 20 centimeter. Scriptfilerna för 10 MW-branden respektive sprinklerbranden redovisas inte eftersom dessa endast skiljer sig marginellt från nedanstående script. Skillnaderna berör endast val av cellstorlekar samt brändernas egenskaper.

```
&HEAD CHID='2MW_4,5m_10-20cm', TITLE='2MW_4,5m_10-20cm' /
```

```
&MESH ID='MESH1', IJK=324,100,24, XB= -2.3, 62.5, -2.7, 17.3, 0.0, 4.8, MPI_PROCESS=0 / 20cm
```

```
&MESH ID='MESH2', IJK=324,100,24, XB= -2.3, 62.5, 17.3, 37.3, 0.0, 4.8, MPI_PROCESS=1 / 20cm
```

```
&MESH ID='MESH3', IJK=648,54,48, XB= -2.3, 62.5, 37.3, 42.7, 0.0, 4.8, MPI_PROCESS=2 / 10cm
```

```
&MESH ID='MESH4', IJK=324,100,24, XB= -2.3, 62.5, 42.7, 62.7, 0.0, 4.8, MPI_PROCESS=3 / 20cm
```

```
&MESH ID='MESH5', IJK=324,100,24, XB= -2.3, 62.5, 62.7, 82.7, 0.0, 4.8, MPI_PROCESS=4 / 20cm
```

```
&CLIP MINIMUM_TEMPERATURE=20./
```

```
&MISC TMPA=20.0, RADIATION =.TRUE., BNDF_DEFAULT=.FALSE./
```

```
&RADI RADIATIVE_FRACTION= 0.35 /
```

```
&TIME T_END= 0.1 /
```

```
/Läckage med 1% av omgivande area (Väggar+tak)
```

```
&ZONE XB=0.0,60.0,0.0,80.0,0.0,4.5, LEAK_AREA(0)=60.6/
```

```
&SURF ID='VAGG'
```

```
MATL_ID='CONCRETE'
```

```
RGB=192, 192, 192
```

```
THICKNESS=0.2
```

```
BACKING=EXPOSED
```

```
LEAK_PATH=1,0/
```

```
&SURF ID='GOLV'
```

```
MATL_ID='CONCRETE'
```

```
RGB=192, 192, 192
```

```
THICKNESS=0.2
```

```
BACKING=EXPOSED /
```

```
&SURF ID='TAK'
```

```
MATL_ID='CONCRETE'
```

```
RGB=192, 192, 192
```

```
THICKNESS=0.2
```

```
BACKING=EXPOSED
```

LEAK_PATH=1,0/

&SURF ID='FIRE'
HRRPUA=2000.
TAU_Q=-206.28
COLOR='RED'/

&MATL ID = 'CONCRETE'
FYI = 'Buchanan - Structural design for fire safety'
CONDUCTIVITY = 1.4
SPECIFIC_HEAT = 0.88
DENSITY = 2300 /

/Brand

&REAC ID='FIRE'
FYI='Heat of combustion 40 % polyester och 60 % wood i SFPE-handboken, CO- och
SOOT_YIELD från BBRAD'

C=4.56,
H=6.56,
O=2.3,
N=0.00,

IDEAL=.TRUE.,
SOOT_YIELD =0.06,
CO_YIELD=0.06,
HEAT_OF_COMBUSTION=20000,
X_O2_LL=0.12 /

&OBST XB= 29.5, 30.5, 39.5, 40.5, 0.0, 0.1, SURF_IDS='FIRE', 'INERT', 'INERT'/ Brand 1*1

/Öppna omgivningsytor

&VENT MB = 'XMIN', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB = 'XMAX', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB = 'YMIN', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB = 'YMAX', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB = 'ZMIN', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB = 'ZMAX', SURF_ID='OPEN' /

/Väggar

&OBST XB = 0.0, 60.0, 0.0, 0.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='VAGG' /
&OBST XB = 0.0, 0.0, 0.0, 80.0, 0.0, 4.5, SURF_ID= 'VAGG' /
&OBST XB = 60.0, 60.0, 0.0, 80.0, 0.0, 4.5, SURF_ID = 'VAGG' /
&OBST XB = 0.0, 60.0, 80.0, 80.0, 0.0, 4.5, SURF_ID='VAGG' /

/Golv

&OBST XB = 0.0, 60.0, 0.0, 80.0, 0.0, 0.0, SURF_ID='GOLV', BNDF_OBST=.TRUE. /

/Tak

&OBST XB = 0.0, 60.0, 0.0, 80.0, 4.5, 4.5, SURF_ID='TAK' /

/Entrédörr

&HOLE XB = 29.0, 31.1, -0.1, 0.25, 0.0, 2.0 /

/Utdata

&SLCF PBX = 30.0, QUANTITY = 'VISIBILITY' /

&SLCF PBX = 30.0, QUANTITY = 'TEMPERATURE' /

&SLCF PBX = 30.0, QUANTITY = 'V-VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX = 30.0, QUANTITY = 'PRESSURE', VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX = 30.0, QUANTITY = 'VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN' /

&SLCF PBY = 20.0, QUANTITY = 'VISIBILITY' /

&SLCF PBY = 20.0, QUANTITY = 'TEMPERATURE' /

&SLCF PBY = 60.0, QUANTITY = 'VISIBILITY' /

&SLCF PBY = 60.0, QUANTITY = 'TEMPERATURE' /

&SLCF PBY = 40.0, QUANTITY = 'VISIBILITY' /

&SLCF PBY = 40.0, QUANTITY = 'TEMPERATURE' /

&SLCF PBY = 40.0, QUANTITY = 'U-VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY = 40.0, QUANTITY = 'PRESSURE', VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY = 40.0, QUANTITY = 'VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN' /

&SLCF PBZ = 2.0, QUANTITY = 'VISIBILITY' /

&BNDF QUANTITY= 'RADIATIVE HEAT FLUX' /

/Termoträd

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,1.6,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,1.8,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,2.0,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,2.2,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,2.4,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,2.6,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD1-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30.0,0.5,2.8,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,1.6,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,1.8,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,2.0,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,2.2,
PROP_ID= '0.25' /

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD2-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,26.5,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,1.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,2.0,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,2.2,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD3-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,40,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,1.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,2.0,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,2.2,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD4-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,53.5,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,1.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,2.0,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,2.2,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD5-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=30,79.5,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,1.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,2.0,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,2.2,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD6-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,53.5,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,1.6, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,1.8, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,2.0, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,2.2, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,2.4, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,2.6, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD7-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,40,2.8, PROP_ID=
'0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,1.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,2.0,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,2.2,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,2.4,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,2.6,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD8-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,26.5,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD9-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,1.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,1.8,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,2.0,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,2.2,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,2.4,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,2.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD9-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,20.0,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD10-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,1.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,1.8,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,2.0,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,2.2,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,2.4,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,2.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD10-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.5,60.0,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD11-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,1.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,1.8,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,2.0,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,2.2,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,2.4,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,2.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD11-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,20.0,2.8,
PROP_ID= '0.25'/

&DEVC ID='TERMOTRÄD12-1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,1.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD12-2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,1.8,
PROP_ID= '0.25'/

```

&DEVC ID='TERMOTRÄD12-3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,2.0,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD12-4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,2.2,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD12-5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,2.4,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD12-6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,2.6,
PROP_ID= '0.25'/
&DEVC ID='TERMOTRÄD12-7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=59.5,60.0,2.8,
PROP_ID= '0.25'/
&PROP ID='0.25', BEAD_DIAMETER=0.00025/

```

/Siktträd

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD1-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD1-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30.0,0.5,2.8/

```

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD2-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD2-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,26.5,2.8/

```

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD3-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD3-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,40,2.8/

```

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD4-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD4-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,53.5,2.8/

```

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD5-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD5-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD5-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD5-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,2.2/

```

&DEVC ID='SIKTTRÄD5-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD5-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD5-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=30,79.5,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD6-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD6-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,53.5,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD7-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD7-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,40,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD8-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD8-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,26.5,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD9-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD9-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,20.0,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD10-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD10-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.5,60.0,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD11-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD11-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD11-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD11-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD11-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,2.4/

&DEVC ID='SIKTTRÄD11-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD11-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,20.0,2.8/

&DEVC ID='SIKTTRÄD12-1', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,1.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-2', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,1.8/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-3', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,2.0/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-4', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,2.2/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-5', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,2.4/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-6', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,2.6/
&DEVC ID='SIKTTRÄD12-7', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=59.5,60.0,2.8/

/Carbonträd

&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD1-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30.0,0.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD2-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,26.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,2.0/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD3-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,40,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD4-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,53.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD5-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=30,79.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,2.4/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,2.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD6-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,53.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,1.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,1.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,2.0/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,2.2/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,2.4/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,2.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD7-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,40,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,1.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,1.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,2.0/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,2.2/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,2.4/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,2.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD8-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,26.5,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,1.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,1.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,2.0/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,2.2/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,2.4/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,2.6/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD9-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,20.0,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD10-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=0.5,60.0,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD11-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,20.0,2.8/

&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-1', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,1.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-2', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,1.8/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-3', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,2.0/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-4', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,2.2/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-5', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,2.4/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-6', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,2.6/
&DEVC ID='CARBONDITRÄD12-7', QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=59.5,60.0,2.8/

&DEVC ID='CARBONDIPUNKT', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON
DIOXIDE', XYZ = 30.0, 60, 1.5 /

&DEVC ID='SYREPUNKT', QUANTITY= 'VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ =
30.0, 60, 1.5 /

&DEVC ID='TRYCKPUNKT', QUANTITY= 'PRESSURE', XYZ = 30.0, 60, 1.5 /

&DEVC ID='SIKTPUNKT1,5', QUANTITY= 'VISIBILITY', XYZ = 30.0, 60, 1.5 /

&DEVC ID='SIKTPUNKT2,0', QUANTITY= 'VISIBILITY', XYZ = 30.0, 60, 2.0 /

&DEVC ID='TEMPPUNKT', QUANTITY= 'TEMPERATURE', XYZ = 30.0, 60, 2.0 /

&TAIL /

Bilaga G – Nordisk jämförelse av förenklad dimensionering

I denna bilaga presenteras en översikt av den nordiska jämförelse av förenklad dimensionering som görs, se tabell G.1.

Tabell G.1 – Översikt över skillnader och likheter i förenklad dimensionering mellan de olika nordiska länderna.

	Sverige	Norge	Danmark	Finland	Island
Gångavstånd till utr.väg	Max 30 m	Max 30 m	Max 25 m	Max 30 m	Max 25 m
Fri bredd i utr.väg	Inte mindre än 1,2 m om > 150 personer.	Inte mindre än 1,2 m.	Inte mindre än 1,2 m om > 150 personer eller om den är den primära utrymningsvägen.	Inte mindre än 1,2 m.	Inte mindre än 1,3 m
Total bredd på utr.vägar	100 cm/150 personer. Om brandcellen är avsedd > 600 personer bör det finnas minst 3 utrymningsvägar. > 1000 personer bör det finnas minst 4 utrymningsvägar.	1 cm/person. Om brandcellen är avsedd > 300 personer krävs minst 2 utrymningsvägar plus en extra utgång per 300 personer.	1 cm/person, totalt 15 meter. Om brandcellen är avsedd > 150 personer krävs minst två utrymningsvägar plus en extra utgång per 200 personer.	1 cm/person för de första 120 personerna, ökar sedan med 40cm/60 personer.	1cm/person Om brandcellen är avsedd > 600 personer krävs det minst 3 utrymningsvägar.
Blockerad utr.väg	Om en av utrymningsvägarna är blockerad måste övriga ge minst 1m/300 personer.	Inga krav finns.	Inga krav finns.	Inga krav finns.	Om en av utrymningsvägarna är blockerad måste övriga ge minst 1m/300 personer.
Särskilda krav kopplade till area och personantal	Om brandcellens area är >2500 m ² krävs automatiskt brandlarm. Om brandcellens area är > 5000 m ² krävs också sprinkler. Kraven är kopplade till brandbelastningen.	Om brandcellens area är > 1200 m ² krävs automatiskt brandlarm. Om brandcellens area är > 1800 m ² krävs sprinkler eller automatisk brandgasventilation. Kraven är kopplade till brandbelastningen.	Om brandcellen är avsedd > 150 personer krävs talat utrymningslarm. Om brandcellens area är > 2000 m ² krävs sprinkler. Om ett enskilt rum är > 1000 m ² krävs sprinkler eller automatisk brandgasventilation. Kraven är kopplade till brandbelastningen.	Om brandcellens area är > 2400 m ² krävs det sprinkler, automatiskt brandlarm eller automatisk brandgasventilation . Kraven är kopplade till brandbelastningen.	Alla samlingslokaler kräver brandlarm.

