

Bärförmåga vid brand i Br2-byggnader

- En inledande studie för att hitta sannolikhet för övertändning och hur robusthet kan användas för att minska konsekvenserna av en lokal brand

Elisabeth Melin & Markus Olofsson

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

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

Report 5418, Lund 2013

Bärförmåga vid brand i Br2-byggnader
En inledande studie för att hitta sannolikhet för övertändning
och hur robusthet kan användas för att minska
konsekvenserna av en lokal brand

Elisabeth Melin & Markus Olofsson

Lund 2013

Titel: Bärförmåga vid brand i Br2-byggnader
Title: Load bearing capacity in case of fire in Br2-buildings

Författare: Elisabeth Melin & Markus Olofsson

Report 5418

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5418--SE

Number of pages: 119

Keywords

Eurocod, steel constructions, localized fire, fire damage area, heat release rate, robustness, progressive collapse, local failure, segmentation, alternate load paths, fire design of building structures, flashover, probability for flashover.

Sökord

EKS 8, Eurokod, Br2-byggnader, stålkonstruktioner, lokal brand, brandskadeområde, effektutveckling, robusthet, progressiv kollaps, lokal kollaps, segmentering, alternativa lastvägar, brandteknisk dimensionering av bärverk, övertändning, sannolikhet för övertändning.

Abstract

An aim with this master thesis is to evaluate when, according to Swedish building code, design of structural fire protection can be carried out using a localized fire as the design fire, i.e. to determine when flashover is not likely. Another aim of the thesis is to examine how a structure is globally affected by a local failure due to a localized fire. One of the goals is to develop a method that obtains a probabilistic distribution of the maximum heat release rate in a building. Such a method would be able to provide input to whether flashover is likely or not and therefore would help in determining whether a localized fire can be used for fire design of building structures. The other goal is to evaluate how robustness of a structure can be achieved in the case of a failing structure element.

The developed method allows for determining heat release rate that can be used in fire safety design of structural members using localized fires. A localized fire can produce high temperatures, which can decrease the structural elements load bearing capacity. This can result in a local failure that can induce a progressive collapse. Robustness, achieved either by segmentation or alternate load paths, can be countermeasures to prevent progressive collapse due to initial failures caused by localized fires.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2013

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

Vid dimensionering av byggnadsdelars bärförmåga vid brand anger Boverket att dimensioneringen bör utföras för fullt utvecklade brand. Om det i en Br2- eller Br3-byggnad kan visas att sannolikheten för övertändning är lägre än 0,5 % får dimensioneringen istället göras för en lokal brand. I denna rapport har en metod utvecklats för att ta fram en statistisk fördelning över maximal effektutveckling i olika byggnadskategorier. Utifrån denna fördelning kan det bestämmas vilken maximal effektutveckling som ska användas för att uppnå kravet att sannolikheten för övertändning ska understiga 0,5 % i Br2-byggnader. Metoden har tagits fram utifrån statistik över inträffade bränder i Sverige under åren 1998-2011.

Statistiken visar att en övervägande del av de bränder som uppstår i byggnadskategorierna är små och detta på grund av att majoriteten av bränderna som uppstått är begränsade till startföremål eller startutrymmen. Detta återspeglas i resultaten där mindre brandskadeområden och därmed effektutvecklingar är de vanligast förekommande. Resultaten ges i form av statistiska parametrar som definierar lognormalfördelningen över maximal effektutveckling och det är förväntade värden samt 95- och 99,5-percentilen som redovisas. Några effektutvecklingar i 99,5-percentilen som ges vid tillämpning av metoden är 18 MW för *Allmän byggnad - Handel* och 14 MW för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning*. Dessa resultat kan användas för att hitta den brand som med 0,5 % sannolikhet inte är större än det framtagna resultatet. Den branden kan sedan ansättas för att avgöra huruvida övertändning eller ej inträffar och om dimensionering för lokal brand får göras eller ej.

Om dimensionering för lokal brand får göras innebär detta att konstruktionsdelarna dimensioneras så att den relativa bärförmågan är större än lastutnyttjandegraden under det förväntade brandförloppet, det vill säga den lokala branden. I ett verkligt fall finns det en sannolikhet att den lokala branden är större än den dimensionerande branden, även om denna sannolikhet ska vara mycket låg. Det som inträffar då är att delar av byggnaden kollapsar. Många Br2-byggnader är uppförda med stålstommar och stål är ett material som leder värme mycket effektivt. En lokal brand kan ge avsevärd temperaturpåverkan på byggnadsdelar och reducera stålets hållfasthet vilket kan leda till kollaps av delar av eller hela byggnaden. Det finns konstruktionsmässiga åtgärder som kan göra byggnaden mer robust, det vill säga mer okänslig för kollaps till följd av en initial skada på bärverket.

I rapporten har det identifierats två tillvägagångssätt som kan användas för att öka robustheten i en byggnad i händelse av brand. Det ena sättet är segmentering, som i stort innebär att en på förhand känd kollaps tillåts utan att resterande konstruktion påverkas. Det andra sättet är alternativa lastvägar som innebär att den oskadade konstruktionen ska kunna ta upp de laster som burits upp av en skadad byggnadsdel.

Om robusthetsaspekten beaktas kan väl utförda detaljutformningar i konstruktionen leda till att en byggnad blir mer okänslig för en lokal brand då sannolikheten för fortskridande och omfattande kollaps minimeras. Om det väl sker en lokal kollaps så leder denna kollaps inte till någon fortskridande kollaps om byggnaden är robust. Anledningen till att utforma en robust byggnad är att sannolikheten för en progressiv kollaps minimeras. En robust byggnad kan alltså vara gynnsam ur både liv- och egendomspektiv.

Förord

Examensarbetet har genomförts vid Lunds Tekniska Högskola på avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. Författarna vill rikta ett stort tack till sina handledare som varit behjälpliga under arbetets gång.

Martin Nilsson

Doktorand vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola

Michael Strömgren

SP Brandteknik, Lund

Ett stort tack riktas även till **Sven Thelandersson**, professor vid avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, för värdefull input under arbetets gång.

Tack riktas även till vår examinator **Håkan Frantzich**, docent vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.

Under arbetets gång har författarna kommit i kontakt med ytterligare ett antal personer som författarna vill tacka.

Thomas Järphag, NCC Teknik, för tillhandahållande av ritningar och material för en Br2-byggnad.

Robert Jönsson, universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, för hjälp med uppstart av examensarbetet.

Oscar Löfgren Ferraz, Brandkonsulten AB, Stockholm, för den input som initierade examensarbetet.

Lund, maj 2013

Elisabeth Melin & Markus Olofsson

Innehåll

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	3
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	4
2 Vetenskaplig metod	5
2.1 Vetenskaplig metodik	5
2.2 Metodöversikt.....	5
3 Litteraturstudie	9
3.1 Litteratursökning	9
3.2 Parametrar som påverkar risken för övertändning	10
3.3 Statistik och litteratur angående framtagande av metoden för att bedöma sannolikheten för övertändning	11
3.4 Begreppet robusthet.....	12
3.5 Metoder för att uppnå robusthet	17
3.6 Jämförelse av designmetoder för robusthet	23
3.7 Systematiska fel.....	25
3.8 Stomstabilisering och laster	27
3.9 Temperaturpåverkan på konstruktionsstål	29
3.10 Resultat av litteraturstudien	30
4 Tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader.....	33
4.1 MSB:s statistik över inträffade bränder	35
4.2 Fördelning av brandskadeområde.....	37
4.3 Effektutvecklingar per kvadratmeter	42
4.4 Fördelning över maximal effektutveckling.....	43
5 Tillämpning av tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader	45
5.1 MSB:s statistik över inträffade bränder	45
5.2 Fördelning av brandskadeområde.....	48
5.3 Effektutvecklingar per kvadratmeter	59
5.4 Fördelning över maximal effektutveckling.....	60
6 Tillämpningsexempel: Robusthet i Br2-byggnader	71
6.1 Robusthet via segmentering.....	71
6.2 Robusthet via alternativa lastvägar	73
6.3 Praktisk tillämpning på en Br2-byggnader	75
6.4 Resultat	77
7 Analys och diskussion	79
7.1 Robusthet.....	79
7.2 Ingångsdata.....	80
7.3 Brandskadeområden	81
7.4 Effektutvecklingar per kvadratmeter	82
7.5 Fördelningar av effektutvecklingar.....	82

7.6 Tekniska system	83
7.7 Brandbekämpande åtgärder	84
7.8 Bränder som uteslutits ur analysen	84
7.9 Styrkor	85
7.10 Svagheter	85
8 Vidare forskning.....	87
8.1 Maximal effektutveckling.....	87
8.2 Robusthet.....	87
9 Slutsats	89
10 Litteraturförteckning.....	91
Bilaga A.....	97
Bilaga B.....	101
Bilaga B.1 – I startbyggnaden	101
Bilaga B.2 – I startbrandcellen	103
Bilaga B.3 – I startutrymmet	105
Bilaga B.4 – I startföremålet.....	108
Bilaga C.....	111
Bilaga D.....	113
Bilaga E.....	117

1 Inledning

I följande kapitel beskrivs rapportens bakgrund, syfte, mål, frågeställningar och avgränsningar.

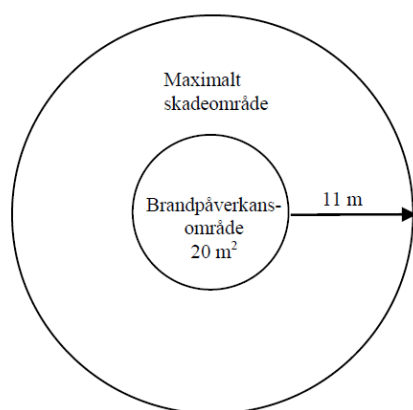
Detta examensarbete har genomförts som ett samarbete mellan två studenter inom civilingenjörsprogrammen Riskhantering respektive Väg- och Vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola, LTH. Arbetet har bedrivits i samarbete med Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering samt Avdelningen för Konstruktionsteknik vid LTH. Arbetet har även bedrivits i samarbete med Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP.

1.1 Bakgrund

På det sätt som Boverkets byggregler är och har varit formulerade finns det utrymme för olika tolkningar av dessa. Detta har bland annat lett till en debatt kring hur bärverkens bärförmåga vid brand i Br2-byggnader i ett plan, ska dimensioneras för att uppfylla kraven. Br2-byggnader utgörs ofta av verksamhetsklass 2B och 2C, det vill säga samlingslokaler. Med en samlingslokal avses lokaler som är avsedda för ett större antal personer, oftast fler än 150 personer, och byggnadsklass Br2 innebär en byggnad med måttligt skyddsbehov (Boverket, 2011a).

Bärverken ska dimensioneras enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS 8 (BFS 2011:10). Enligt EKS 8 avdelning C ska byggnadsdelar hänföras till olika brandsäkerhetsklasser (Boverket, 2011b). Brandsäkerhetsklass väljs beroende på risken för personskada om en byggnadsdel kollapsar i händelse av brand. I EKS 8 finns fem olika brandsäkerhetsklasser, 1-5, där 1 innebär ringa risk för personskada och 5 innebär mycket stor risk för personskada. De bärverksdelar i en Br2-byggnad som kan leda till fortskridande ras hänförs oftast till brandsäkerhetsklass 3 vilket i sin tur ger ett krav på att det berörda bärverket ska ha en bärförmåga motsvarande R30.

Det finns dock undantag när det gäller klassificering av byggnadsdelar i Br2-byggnader. Om det går att påvisa att ett eventuellt ras är begränsat till maximalt skadeområde enligt figur 1.1 kan byggnadsdelarna hänföras till brandsäkerhetsklass 1 förutsatt att ett brott inte innebär en omedelbar kollaps samt att en fullständig utrymning kan genomföras (Boverket, 2011b). Om detta inte uppfylls hänförs byggnadsdelarna till brandsäkerhetsklass 3. För brandpåverkansområdet används ett brandförlopp som följer ISO 834-brandkurvan under 30 minuter.



Figur 1.1 - Brandpåverkansområde och angränsande område, (Boverket, 2011b)

Efter att brandsäkerhetsklassen har bestämts kan byggnadsdelarnas bärförmåga vid brand dimensioneras enligt två tillvägagångssätt. Det ena dimensioneringssättet bygger på klassificering av byggnadsdelarna. Klassificeringen innebär att byggnadsdelarna inte kollapsar under tidsperioderna som anges i tabell 1.1 vid brandpåverkan enligt ISO 834-brandkurvan (Boverket, 2011b).

Tabell 1.1 - Brandteknisk klass i bärande avseende (Boverket, 2011b)

Brandsäkerhetsklass	Brandteknisk klass vid brandbelastning f (MJ/m ²)		
	$f \leq 800$ MJ/m ²	$f \leq 1600$ MJ/m ²	$f > 1600$ MJ/m ²
1	0	0	0
2	R15	R15	R15
3	R30	R30	R30
4	R60	R120 (R90*)	R180 (R120*)
5	R90 (R60*)	R180 (R120*)	R240 (R180*)

* Vid installation av automatisk vattensprinkleranläggning utförd enligt avsnitt 5:235 i Boverkets byggregler (2011:6).

Det andra dimensioneringssättet utgår från modeller av naturligt brandförlopp. Byggnadsdelarna dimensioneras i detta fall enligt brandförloppen i tabell 1.2.

Tabell 1.2 - Krav på byggnadsdelar kopplat till brandsäkerhetsklass (Boverket, 2011b)

Brandsäkerhetsklass	Brandförlopp
1	0
2	15 minuter (del av ett fullständigt brandförlopp exkl. avsvälning)
3	30 minuter (del av ett fullständigt brandförlopp exkl. avsvälning)
4	Fullständigt brandförlopp (inkl avsvälning).
5	Fullständigt brandförlopp med 50 % ökad brandbelastning (inkl avsvälning).

Ett tillägg till det andra dimensioneringssättet är att dimensioneringen bör utföras för fullt utvecklade brand. Om det i en Br2-byggnad kan påvisas att sannolikheten för övertändning vid brand är mindre än 0,5 % kan dimensionering dock göras efter en lokal brand. Exempel på hur detta kan visas kan vara med två oberoende tekniska system eller att övertändning inte kan inträffa med hänsyn till låg brandbelastning (Boverket, 2011b).

Dimensionering enligt lokal brand förutsätter med andra ord att sannolikheten för övertändning är mycket låg. Hur detta ska visas regleras ej närmare i byggreglerna och det finns inget generellt tillvägagångssätt för hur sannolikheten för övertändning ska tas fram. Anledningen till att dimensionering enligt lokal brand är önskvärd är för att denna dimensionering ofta leder till att bärverken kan utföras oskyddade, vilket ger billigare byggnader. En del av rapporten syftar därför till att ta fram ett förslag på ett tillvägagångssätt som kan användas för att avgöra om dimensionering för lokal brand kan användas.

En lokal brand kan trots att den inte leder till övertändning leda till en snabb brandtillväxt med lokalt höga temperaturer. Konstruktioner av stål är mycket temperaturkänsliga (Burström, 2007). Uppvärmning av konstruktionsstål på grund av en lokal brand kan därför leda till stora temperaturbetingade rörelser och avsevärd

reduktion av konstruktionsstålets bärförmåga (Isaksson, Mårtensson, & Thelandersson, 2010a).

Hur takbalkar i stål påverkas vid temperaturhöjningar har utretts och diskuterats i ett antal examensarbeten och artiklar, se bland andra Björkstad (2012), Hägg & Lindqvist (2007) och Sun, Huang & Burgess (2012). Dessa visar att takbalkar i stål kan nå kritiska temperaturer tidigt i ett brandförlopp och att delar av balken kollapsar, till exempel att ett stag i en fackverksbalk knäcks. Utgångspunkten för en del av detta examensarbete är att undersöka hur konstruktionen i helhet påverkas då en del av en balk slås ut till följd av lokal brand och balken antas tappa hela sin bärförmåga.

Då en lokal kollaps inträffar i en byggnad påverkas konstruktionen i sin helhet olika beroende på hur *robust* konstruktionen är. Robusthet är en egenskap hos konstruktionen som på senare tid fått mycket uppmärksamhet på grund av en rad större kollapsar, till exempel kollapsen av World Trade Center i New York 2001 (Starossek & Wolff, 2005). Det finns ingen entydig definition av begreppet robusthet men den gemensamma nämnaren för de definitioner som finns är att konstruktionen ska klara av en oförutsedd händelse utan att fortskridande kollaps inträffar (Nyström & Rönnebjerg, 2009).

1.2 Syfte och mål

Examensarbetets upplägg består av två huvudspår. Det ena spåret berör sannolikheterna för övertändning vid brand medan det andra spåret berör bärverkets konstruktion och robusthet vid brand. Syftet med examensarbetet är att utreda när sannolikheten för övertändning är så låg att dimensionering för lokal brand får göras i Br2-byggnader enligt EKS 8. Vidare är syftet att undersöka hur en konstruktion globalt påverkas vid en kollaps till följd av en lokal brand.

Målet med examensarbetet är att utveckla en metod för att kvantifiera när dimensionering enligt lokal brand kan användas i Br2-byggnader, det vill säga hur det avgörs att sannolikheten för övertändning inte överstiger 0,5 %. Metoden kommer att baseras på tillgänglig statistik och åskådliggöras i form av sannolikhetsfördelningar för brandskadeområden och effektutvecklingar i olika byggnadskategorier. Vidare är målet att ta reda på hur konstruktionens robusthet påverkas vid olika utformning, förutsatt att en lokal kollaps på grund av en lokal brand inträffat. En del av detta är att undersöka vilka parametrar som kan göra att konstruktionen blir mer robust.

1.3 Frågeställningar

Frågeställningarna utgörs av två primära och generella frågeställningar med tillhörande sekundära frågeställningar enligt nedan:

- Hur kan det avgöras när dimensionering enligt lokal brand kan användas för Br2-byggnader enligt EKS 8?
 - Hur kan sannolikheten för övertändning avgöras i Br2-byggnader?
 - Hur ska effektutvecklingar användas för att avgöra sannolikheten för övertändning i Br2-byggnader?
 - På vilket sätt kan brandtekniska system vägas in då sannolikheten för övertändning beräknas?

- Hur ska en konstruktion utformas för, att ur ett robusthetsperspektiv, klara av att en bärverksdel kollapsar till följd av lokal brand utan att fortskridande kollaps inträffar?
 - Vad innebär en robust konstruktion och hur kan en sådan utformas?

1.4 Avgränsningar

De byggnader som behandlas i arbetet är Br2-byggnader i ett plan, uppförda med stålkonstruktion.

Anledningen till att en global analys genomförs på konstruktionen och inte en analys av en särskild bärverksdel är att, som nämnts ovan, många undersökningar redan har gjorts på hur specifika bärverksdelar påverkas vid temperaturhöjningar. Kollapsen som antas ske är till följd av en lokal brand och det antas att en hel fackverksbalk slås ut och tappar hela sin bärförmåga. Detta antagande må vara radikalt men det görs för att på ett nyanserat sätt kunna utföra en global analys ur ett robusthetsperspektiv. Ekonomiska aspekter beaktas ej.

2 Vetenskaplig metod

I följande kapitel beskrivs arbetets disposition samt de metoder och tekniker som använts för att utföra arbetet.

2.1 Vetenskaplig metodik

Beroende på vad examensarbetet har för mål och syfte kan olika metodiker väljas. De övergripande syftena som oftast finns i samband med ett arbete är följande (Höst, Regnell, & Runeson, 2006):

- **Beskrivande**
Studier vars huvudsakliga syfte är att ta reda på och beskriva hur något fungerar eller utförts
- **Utforskande**
Studier som syftar till att på djupet förstå hur något fungerar eller utförts
- **Förklarande**
Studier som söker orsakssamband och förklaringar till hur något fungerar eller utförs
- **Problemlösande**
Studier som har till syfte att hitta en lösning till något problem som identifierats

Syftet med detta examensarbete är en blandning av alla ovan nämnda syften. Detta beror på att det är ett "nytt" tillvägagångssätt, en ny metod, som har tagits fram och de ovan nämnda syftena, beskrivande och problemlösande, passar bra in på examensarbetets syfte. Examensarbetet är även utforskande och förklarande på grund av att det genomförts en global analys av konstruktioner där analysens syfte är att ta reda på hur robustheten i en konstruktion kan ökas.

Arbetet ska präglas av en vetenskaplig karaktär. Strävan har därför varit att uppnå en hög grad av reliabilitet, validitet och representativitet. Detta har uppnåtts genom att tillförlitlig litteratur och referenser använts och arbetet utreder det som avses undersökas. För att arbetet ska vara lätt att läsa och förstå har stor tyngd lagts vid dispositionen av arbetet.

2.2 Metodöversikt

Arbetet inleds med ett par huvudsakliga problemformuleringar som utgör grunden för arbetet. För att uppnå målen med arbetet har en litteraturstudie genomförts. Litteraturen som har granskats har varit inom relevanta forskningsområden och de regler och myndighetskrav som finns inom området har behandlats. Därefter behandlades och analyserades litteraturen. Dessa moment i arbetet ligger som grund till resterande delar av arbetet. Arbetet är sedan uppdelat i två huvudspår som behandlar frågeställningarna. Det ena spåret utgörs av framtagande av ett tillvägagångssätt som kan användas för att avgöra om dimensionering enligt lokal brand i Br2-byggnader kan användas så som det är föreskrivits i EKS 8. Denna del av arbetet innehåller följande huvudmoment:

- Identifiering av vilka parametrar som avgör huruvida övertändning inträffar eller ej
- Framtagande av metod för att bedöma sannolikhet för övertändning
- Tillämpning av metod för att bedöma sannolikheten för övertändning
- Analys och diskussion av resultaten

Det andra spåret behandlar begreppet robusthet och hur detta kan uppnås i en konstruktion. Delmomenten till detta spår är:

- Introduktion av begrepp inom robusthet
- Metoder för att uppnå robusthet i en konstruktion
- Tillämpningsexempel
- Analys och diskussion av resultaten

Därefter följer en för båda spåren gemensam reflektion kring hur robusthet skulle kunna mildra konsekvenserna vid övertändning och brandförlopp som ej leder till övertändning.

Nedan följer rapportens upplägg och struktur med en introduktion till varje avsnitt.

2.2.1 Problemformulering

Vid genomläsning av relevant litteratur inom övertändning och lokal brand uppstod frågan hur sannolikheten för övertändning egentligen kan beräknas. Författarna till denna rapport fann det då intressant att även titta på hur robusthet i en konstruktion kan mildra effekterna av en lokal skada till följd av exempelvis en brand. Detta mynnade ut i arbetets mål och syfte med tillhörande frågeställningar.

2.2.2 Litteraturstudie

Arbetet baseras till stor del på litteraturstudien som utförts. Litteraturstudien utgör därför en stor och viktig del av arbetsgången. I litteraturstudien har ett antal databaser använts för att systematiskt söka relevanta artiklar, rapporter och statistik inom arbetets områden. Litteratursökningar har även gjorts på bibliotek inom Lunds universitet. Litteraturstudien har kompletterats med litteratur från författarnas tidigare lästa kurser samt tidigare kända publikationer om relevanta ämnen.

För att projektet skulle kunna genomföras gjordes en litteraturstudie inom områdena lokal brand, byggnaders bärförmåga vid brand, övertändning, kollaps av byggnader och byggnadsdelar, robusthet samt robusta konstruktioner. Litteraturstudien har genomförts dels för att se vad som finns gjort på området och dels för att utgöra den teoretiska grunden för arbetet.

2.2.3 Tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader

I denna del av arbetet beskrivs det hur metoden tas fram med hjälp av tillgänglig statistik. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps, MSB:s, databas IDA används för att ta fram statistik för bränder i Br2-byggnader. Data som hämtats är både kvantitativ och kvalitativ. Statistiken utgör grunden för de fördelningar av effektutvecklingar som tagits fram. Effektutvecklingarna togs fram med hjälp av statistiken, beräkningar och uppskattningar.

2.2.4 Tillämpning av tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader

I detta delmoment beskrivs hur den framtagna metoden är tänkt att tillämpas och resultat tas fram och redovisas. Resultaten som tagits fram kommer att analyseras samt osäkerheter kommer att diskuteras. Resultaten utgör enbart tillämpningsexempel för hur metoden ska användas.

2.2.5 Tillämpningsexempel: robusthet i en Br2-byggnad

I detta delmoment beskrivs hur en robust byggnad kan uppnås med konkreta förslag utifrån en byggnad som år 2013 är under uppförande och som får fungera som ett exempel i studien samt att resultaten redovisas.

2.2.6 Analys och diskussion

I detta avsnitt analyseras och diskuteras de resultat som tagits fram.

2.2.7 Vidare forskning

I detta delmoment anges områden där vidare analyser, undersökningar samt forskning krävs.

2.2.8 Slutsatser

I denna del av arbetet besvaras frågeställningarna på ett kort och koncist sätt.

3 Litteraturstudie

I följande kapitel presenteras de sökord som använts i litteraturstudien, använda informationskällor samt den teori som för arbetet framåt.

Litteraturstudien med tillhörande moment syftar till att ta reda på vad som finns publicerat inom för examensarbetet relevanta ämnesområden. Vidare syftar litteraturstudien till att utgöra en teoretisk grund för det genomförda examensarbetet.

3.1 Litteratursökning

Litteratursökningen inleddes med ett brett perspektiv för att efterhand smalna av mot rapportens mål och syfte. Sökningen inleddes med sökord och kombinationer av sökord som borde ge en bra täckning. Träffarna har utifrån sammanfattningar, abstracts och nyckelord studerats för att avgöra dess relevans. Träffar inom relevanta sökord men inom ej relevanta vetenskapsområden kunde snabbt sällas bort. Träffar inom relevanta vetenskapsområden studerades mer ingående genom att läsa igenom abstracts. Utifrån detta gjordes ytterligare en sällning och relevanta artiklar lästes i sin helhet. Detta förfarande användes framförallt vid sökning på databaser. I sin helhet ledde detta förfarande till att cirka 50 artiklar och publikationer lästes igenom.

Litteratursökning skedde även på Lunds universitets bibliotek i allmänhet och V-husets bibliotek i synnerhet. Genom hela litteraturstudien har ett kritiskt och objektivt förhållningssätt till litteraturen tillämpats.

3.1.1 Databaser

De databaser som användes under litteraturstudien var SUMMON, Lunds Universitets LOVISA, Engineering Village, Google Scholar samt MSB:s statistikdatabas IDA. Vid ett stort antal träffar förfinades sökningarna och titlarna studerades, därefter förfinades sökningarna ytterligare genom att abstracten studeras mer ingående och relevanta nyckelord användes i nya sökningar. På detta vis togs relevant litteratur fram på ett systematiskt sätt medan irrelevant litteratur snabbt sällades bort.

3.1.2 Sökord

Litteraturstudien inleddes med att ett antal sökord som bedömdes relevanta identifierades. Ett urval av dessa sökord var följande:

- Övertändning/Flashover
- Effektutveckling/Heat release rate
- Lokal brand/Localized fire
- Brandbelastning/Fireload
- Brandfrekvenser
- Robusthet/Robustness
- Lokal kollaps/Local collapse
- Fortskridande kollaps/Progressive collapse/Disproportionate collapse
- Redundant structures

3.1.3 Sammanställning av litteratursökningen

Litteratursökningen resulterade i en mängd litteratur där det visade sig att det var några författare som var frekvent återkommande inom områdena som berörs av denna rapport.

Inom området som rör brand hittades en ganska stor mängd litteratur framför allt kring kriterier för övertändning men när det gällde statistik över inträffade bränders storlek och huruvida övertändning inträffat fanns knappt någon litteratur att tillgå. Det som skrivits inom inträffade bränder och som varit av relevans för denna rapport har framförallt skrivits av P.G. Holborn, P.F. Nolan och J. Golt, se exempelvis Holborn, Nolan och Golt (2004) och Holborn, Nolan, Golt och Townsend (2002).

Angående robusthet i en konstruktion har U. Starossek själv och tillsammans med ett antal kollegor skrivit ett stort antal artiklar i vetenskapliga tidskrifter. Även European Cooperation in Science and Technology (COST) har gett ut en del litteratur kring robusthet och hur robusthet ska användas vid dimensionering av konstruktioner.

Nedan följer den teori som ur den insamlade litteraturen bedömts som viktigast samt den litteratur som använts för att driva arbetet framåt och identifiera vad som behöver göras för att kunna svara på de frågeställningar som rapporten bygger på. Det är teori angående övertändning, robusthet, progressiv kollaps och hur en robust byggnad uppnås som redovisas nedan.

3.2 Parametrar som påverkar risken för övertändning

Övertändning definieras som "*The rapid transition to a state of total surface involvement in a fire of combustible material within an enclosure*" (Karlsson & Quintiere, 2000). Fritt översatt är övertändning en övergång till att samtliga brännbara material i ett rum involveras i branden.

För att övertändning ska inträffa krävs att vissa förhållanden uppstår i brandrummet. Vanliga kriterier som behövs för att övertändning ska kunna uppstå är att temperaturen i brandrummet uppgår till runt 600 °C, att den infallande strålningen mot golvet i brandrummet är närmare 20 kW/m² eller att flammor slår ut från brandrummet (Karlsson & Quintiere, 2000; Drysdale, 1998). Strålning påverkas väldigt mycket av temperaturen eftersom strålningen beror av temperaturen upphöjt till fyra (Drysdale, 1998). För att övertändning ska inträffa krävs alltså höga temperaturer i brandrummet. I en byggnad finns det ett flertal parametrar som kan påverka temperaturen vid en brand och därmed även sannolikheten för övertändning. Några av parametrarna är storleken på utrymmet där branden uppstår och vad utrymmets väggar består av (Babrauskas, 1980).

Babrauskas (1980) identifierar dock brandens effektutveckling och tillflödet av luft till branden som de två allra viktigaste parametrarna. Kim och Lilley (2002) anger brandens effektutveckling som den viktigaste parametern för övertändning tillsammans med tilluften till branden, rummets area och vägg- och takmaterial. En av anledningarna till att brandens effektutveckling påverkar risken för övertändning i stor utsträckning är att effektutvecklingen påverkar temperaturen i plymen och brandgaserna (Bishop & Drysdale, 1998).

Sannolikheten för övertändning påverkas alltså framförallt av några parametrar där effektutveckling tycks vara en av, eller möjligtvis den viktigaste parametern. Eftersom effektutvecklingen är en betydande parameter för huruvida övertändning inträffar eller ej är det av intresse att veta hur fördelningen för effektutveckling ser ut. Att ta fram fördelningar över effektutvecklingar kan utgöra en viktig del i att avgöra sannolikheten för övertändning och huruvida dimensionering för lokal brand får göras eller ej.

3.3 Statistik och litteratur angående framtagande av metoden för att bedöma sannolikheten för övertändning

Metoden för att bedöma sannolikheten för övertändning grundar sig på den statistik som finns tillgänglig. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, används för att ta fram statistik över antal inträffade bränder i byggnader. Det är MSB:s statistikverktyg IDA som används. Statistiken över antal inträffade bränder i byggnader finns för åren 1998-2011 och den är indelad i ett flertal kategorier. Några av de övergripande kategorierna som finns i MSB:s statistikverktyg är byggnadsgrupp, byggnad och kommun. Det finns även kategorier som berör tid, alltså månad, veckodag och tid på dygnet då branden inträffade samt vilken räddningstjänst som berördes. De brandspecifika kategorierna som finns är brandorsak, brandens totala omfattning, startutrymme och startföremål.

I IDA finns det inte några värden på vilka effektutvecklingar som respektive brand har genererat. Som nämnts i kapitel 3.2 är det effektutvecklingen som i stor utsträckning påverkar om övertändning sker eller ej. Det är därför av intresse att ta fram fördelningen över effektutvecklingar. Denna fördelning går inte att göra rakt av från statistiken då det inte anges några effektutvecklingar. Därför används ett annat angreppssätt. Detta angreppssätt grundar sig på att ta fram den golvarea som blivit förstörd vid respektive brand samt en effektutveckling per kvadratmeter som är applicerbar för respektive byggnad. Dessa multipliceras för att generera en total effektutveckling som därefter kan fördelas.

Den golvarea som förstörts av respektive brand finns inte angivet i IDA. Det som anges är var branden startade, startföremål, samt till vilket utrymme eller i hur stor utsträckning branden spridit sig. Detta innebär att det inte går att få fram denna golvarea direkt ifrån IDA utan en metod för att ta fram det förstörda området får användas och som grundar sig på att en golvarea för de utrymmen där branden startat samt spridit sig till tas fram.

Energimyndigheten (Energimyndigheten 2010, Energimyndigheten 2009) har gjort undersökningar, i handelslokaler och idrottsanläggningar, där de har tagit stickprov av Sveriges byggnadsbestånd för att avgöra dess energianvändning. Denna undersökning visar på ett stickprov av hur stora byggnaderna är, där byggnadernas handelsarea och area anges. Dock anges det inga värden på hur stora utrymmen i de olika verksamheterna är. Det är sådana värden som är av intresse att hitta då det är de värdena som kan användas som input för att ta fram ett brandskadeområde. Energimyndighetens undersökningar kommer därför inte att användas vidare i rapporten.

I Rasbash, Ramachandran, Kandola, Watts, & Law (2004) återfinns en ekvation som kan användas för att ta fram det förstörda området, brandskadeområde. Ekvationen används tillsammans med den uppskattade golvarean och ger ett brandskadeområde. Denna ekvation används då inga andra metoder har återfunnits i litteratur. Med detta angreppssätt kan en fördelning över brandskadeområdena göras för att därefter multipliceras med en effektutveckling per kvadratmeter som ger den slutliga totala effektutvecklingen.

I Holborn et al. (2004) finns värden på brandskadeområden som de har kunnat ta fram utifrån den statistik som varit tillgänglig i Storbritannien. De värden som anges i

Holborn et al. (2004) används för att jämföra med de värden på brandskadeområden som tas fram i denna rapport. Holborn et al. (2004) används genomgående i arbetet som en input till vad som påverkar det område som branden förstör och fungerar genomgående som en jämförelse till de resultat som tas fram i denna rapport samt osäkerheter som finns i rapporten. I tabell 3.1 finns de värden på brandskadeområden som Holborn et al. (2004) har tagit fram.

Tabell 3.1 – Brandskadeområden framtagna av Holborn et al. (2004).

Resultat från Holborn et al. (2004)	Estimated log-normal distribution parameters					
	N	μ	σ	E(x) [m ²]	X ₉₅ [m ²]	X _{99,5} [m ²]
Occupancy group						
Care homes	17	-0,64	1,44	1	6	22
Hospitals	30	-0,08	1,28	2	8	25
Hotels	38	-0,29	1,52	2	9	38
Licensed premises	50	0,78	1,70	9	36	174
Schools	34	0,69	1,89	12	45	260
Retail	94	1,17	1,84	18	66	369
Higher/further education	14	0,56	2,24	22	70	561
Offices	63	0,83	2,14	23	78	568
Factories	47	1,68	1,91	34	124	735
Public buildings	34	1,80	1,92	38	142	850
Warehouse	20	2,87	2,13	170	586	4258

I Bennets et al. (1998) finns värden för effektutvecklingar som tagits fram vid fullskaleförsök och som ska representera olika typer av handelslokaler. Dessa värden används för att jämföra med de värden på effektutvecklingar som tas fram i denna rapport.

3.4 Begreppet robusthet

Robusthet är en egenskap som är eftertraktad i konstruktioner och som har blivit mer och mer uppmärksammas på senare år. Robusthet innebär i stort att en byggnad inte drabbas av oproportionerlig kollaps till följd av en lokal skada (Canisius, 2011). Uppmärksamhet kring robusthet har uppstått på grund av ett större antal krascher av byggnader (Fang, Izzuddin, Elghazouli, & Nethercot, 2011).

Under de senaste åren har ett omfattande antal takkonstruktioner kollapsat i Europa. Dessa händelser har väckt ett intresse kring robusthet i Sverige och Europa och initierat flera studier på hur sådana krascher skulle kunna förhindras med hjälp av robusta konstruktioner (Frühwald, Serrano, Toratti, Emilsson, & Thelandersson, 2007).

De vanligaste förekommande orsakerna till att stålkonstruktioner skadas eller kollapsar är följande (Ioniță, Romînu, Țăranu, Băncilă, & Banu, 2008):

- Bristande stagning under produktionsstadiet
- Design- och konstruktionsfel, framförallt av anslutningar och detaljer
- Bristande svetsning
- Ej redundant utformning
- Överbelastning

Fel som uppstår på grund av felaktig konstruktion eller tillverkning av stålanslutningar och detaljer är ganska vanliga. Det sätt som stålkonstruktioner ofta utformas på innebär att det är viktigt med stabiliseringen av byggnaden både under konstruktionsstadiet och i bruksstadiet (Frühwald et al., 2007).

När det gäller kopplingen mellan robusthet i en konstruktion och brand så står det föreskrivet i EKS 8 att byggnadsdelar får hänföras till olika brandsäkerhetsklasser beroende på om en eventuell kollaps, till följd av en brand, begränsas till skadeområdet enligt figur 1.1 eller om kollapsen riskerar fortskrida (Boverket, 2011b). Detta gäller inte för lokal brand, då ingen kollaps tillåts. I en robust konstruktion kan en fortskridande kollaps förebyggas. När det gäller definitioner av begreppen robusthet och fortskridande/progressiv kollaps finns det idag ingen samsyn på dessa men många förespråkar att det behövs ett enhetligt synsätt på begreppen (Sykora, Holicky & Markova, 2011). Nedan presenteras ett urval av de definitioner som finns för de båda begreppen.

3.4.1 Definition av robusthet

Det som är gemensamt bland de olika definitioner av robusthet som finns är att i en robust konstruktion sker ingen skada eller kollaps som är oproportionerligt stor jämfört med den initiala skadan (Starossek & Haberland, 2008). Nedan följer ett antal definitioner av begreppet robusthet:

”The robustness of structure is the ability of the structure to prevent from disproportional failure after the local damage arisen by accidental actions” (Sun et al., 2012)

”Robustness is the property of systems that enables them to survive unforeseen or unusual circumstances” (Knoll & Vogel, 2009)

” It is suggested to define the term robustness as insensitivity to local failure, where “insensitivity” and “local failure” are to be quantified by the design objectives, which are part of the design criteria. Defined in this way, robustness is a property of the structure alone and is independent of possible causes of initial local failure” (Starossek, 2006)

Enligt den övergripande Eurokoden, SS-EN 1990, är ett grundläggande krav för en konstruktion att:

”Ett bärverk ska dimensioneras och utföras på ett sådant sätt att det inte skadas av händelser såsom:

- *explosion,*
- *påkörning och*
- *konsekvenser av mänskliga misstag*

i en omfattning som inte står i rimlig proportion till den ursprungliga orsaken”

Termen robusthet definieras inte uttryckligen här, men innebörden är samma som de i ett flertal definitioner av robusthet (Canisius, 2011).

I Eurokod, SS-EN 1991-1-7, som berör olyckslaster nämns däremot robusthet explicit:

“Robusthet är ett bärverks förmåga att motstå händelser som brand, explosioner, påkörning eller konsekvenser av mänskliga fel utan att den påföljande skadan blir oproportionerligt stor i förhållande till den ursprungliga orsaken till skadan.”

Information om hur robusthet uppnås i en konstruktion beskrivs dock inte närmare i SS-EN 1991-1-7 (Canisius, 2011).

De olika definitionerna har i mångt och mycket samma innebörd men uttrycks i olika ordalag. Den definition som kommer att användas i rapporten är den som följer av Eurokod, SS-EN 1991-1-7.

Problemet är att det i Eurokoder och normer enbart beskrivs vilka kvaliteter en robust konstruktion ska ha men det ges inga konkreta förslag på hur detta ska uppnås. Det behövs alltså mått för att kvantifiera hur robust en byggnad egentligen är (Starossek & Haberland, 2008).

3.4.2 Definition av progressiv kollaps

För att en byggnad ska vara robust krävs att det inte sker någon progressiv (fortskridande) kollaps till följd av en lokal skada. Nedan följer ett antal olika tolkningar och definitioner av begreppet progressiv kollaps:

” Progressive collapse is defined as the spread of an initial local failure from element to element, eventually resulting in the collapse of an entire structure or a disproportionately large part of it” (ASCE, 2002)

” Progressive collapse, where the initial failure of one or more components results in a series of subsequent failures of components not directly affected by the original action is a mode of failure that can give rise to disproportionate failure” (Canisius, Sørensen, & Baker, 2007)

” Progressive collapse is a situation where local failure of a primary structural component leads to the collapse of adjoining members which, in turn, leads to additional collapse” (Nair, 2004)

”Progressive collapse is a situation where local failure of a primary structural component leads to the collapse of adjoining members which, in turn, leads to additional collapse” (Starossek & Haberland, 2008)

” Progressive collapse occurs when an initial local failure spreads from element to element, eventually resulting in collapse of a disproportionately large or entire part of a structure” (Sun et al., 2012)

Definitionerna av progressiv kollaps som nämns ovan har i stort samma innebörd men beskrivs i olika ordalydelser. Den definition av progressiv kollaps som kommer att användas i denna rapport är en kombination av de ovanstående, speciellt definitionerna som talar om en slags kedjereaktion. Definitionen av progressiv kollaps i den här rapporten kommer vara ”en kollaps som på grund av en initial skada fortplantar sig och blir oproportionerligt stor i jämförelse med den initiala skadan”.

Även om formuleringarna av begreppet progressiv kollaps varierar karakteriseras de av några specifika saker. Det som karakteriserar progressiv kollaps är att en liten del av strukturen, på grund av en onormal händelse, tappar sin bärförmåga och detta ger upphov till en serie efterföljande kollapser. Dessa efterföljande kollapser är inte direkt påverkade av den initiala händelsen utan av den lokala skada som uppstår på grund av händelsen. De efterföljande kollapserna leder i sin tur till ytterligare skador. Resultatet kan bli en utbredd kollaps av stora delar av eller hela strukturen där kollapsen är oproportionerligt stor i förhållande till storleken på den lokala utlösande skadan.

För att progressiv kollaps ska ske krävs det att det sker en initial skada. Denna initiala skada/lokalt brott definieras enligt Eurokod, SS-EN 1991-1-7 som följande:

”Lokalt brott är den del av ett bärverk som antas ha kollapsat eller blivit obrukbart på grund av en olyckshändelse”

3.4.3 Robusthet och progressiv kollaps i brandfallet

Av definitionerna ovan går det att dra slutsatsen att i en robust konstruktion sker ingen progressiv kollaps. I figur 1.1 redovisas det skadeområde som är tillåtet för att hänföra byggnadsdelar till brandsäkerhetsklass 1. I och med att eventuell kollaps på grund av en brand ska begränsas till detta skadeområde för att kunna hänföra byggnadsdelen till brandsäkerhetsklass 1 kan robusthet vara en parameter att beakta i detta fall. Om byggnaden utförs på ett robust sätt innebär det att risken för progressiv kollapsminskar. I rapporten kommer kapitel 6 ge förslag på hur en konstruktion kan utformas för att bli robust.

3.4.4 Kollapstyper

Huruvida progressiv kollaps uppstår beror på ett antal olika mekanismer. Dessa mekanismer beror på typ och form av konstruktionen lika väl som läget och magnituden på den utlösande händelsen. Det finns olika typindelningar av progressiv kollaps som kan ske och dessa typer beror på hur konstruktionen är utformad. Enligt Starossek (2007a) finns det sex olika typer av progressiv kollaps. De olika typerna som Starossek (2007a) nämner är *pancake-type-kollaps*, *zipper-type-kollaps*, *domino-type-kollaps*, *section-type-kollaps*, *instability-type-kollaps* och *mixed-type-kollaps*. Alla dessa kollapstyper är inte aktuella i en Br2-byggnad i ett plan då en takbalk kollapsar på grund av en lokal brand. De aktuella kollapstyperna bedöms vara *zipper-type-kollaps*, *instability-type-kollaps* och *mixed-type-kollaps* och beskrivs nedan.

Zipper-type-kollaps

Zipper-type-kollaps är en typ av kollaps som kan ses framförallt hos hängbroar och snedkabelbroar (Starossek, 2007a). Mekanismen som gör att kollapsen sker kan även uppstå i byggnader.

De egenskaper som kännetecknar en zipper-type-kollaps beskrivs nedan (Starossek, 2007a):

- Initialt brott av en eller flera konstruktionselement
- Omfördelning av de krafter som burits av de skadade konstruktionselementen till återstående konstruktion
- Om brottet är plötsligt uppstår en impulslast vilket skapar dynamiska effekter hos de konstruktionselement som ska ta upp den ökade lasten
- Närliggande eller liknande element kollapsar vilket kan leda till en progressiv kollaps av stora delar av konstruktionen

Att kollapsen sprids från det felande elementet beror på impulslasten som uppstår och det är de plötsliga omfördelningarna av laster som gör att elementen kollapsar (Starossek, 2007a).

Instability-type-kollaps

Fackverks- eller balkkonstruktioner där stagningselement används för att stabilisera stänger eller tvärsnittselement i tryck är exempel på var instability-type-kollaps kan uppstå. Instabilitet kännetecknas av små störningar i en struktur och det kan leda till stora deformationer eller kollapsar. Brott på ett stagningselement på grund av någon liten utlösande faktor kan göra systemet instabilt och leda till en kollaps (Starossek, 2007a).

En instability-type-kollaps uppvisar följande egenskaper (Starossek, 2007a):

- Initial skada av ett element vars uppgift är att stabilisera ett tryckbelastat element
- Instabilitetsproblem i det tryckbelastade elementet när stabiliseringen upphör
- Plötsligt brott av de instabila elementen på grund av små störningar
- Progressiv kollaps sker då brottet fortplantar sig i resterande konstruktion

Mixed-type-kollaps

En kollaps kan innehålla flera olika kollapstyper vilket innebär att det då benämns mixed-type-kollaps (Starossek, 2007a).

Eftersom att det i avgränsningarna till denna rapport anges att det är en takfackverksbalk som helt kommer att slås ut kan zipper-type-kollaps vara en möjlig kollapstyp. Zipper-type-kollaps kan troligen uppstå eftersom att kollapsen av takfackverksbalken leder till att det blir en omfördelning av laster som kan leda till progressiv kollaps. Instability-type-kollaps är trolig att uppstå på grund av att den takfackverksbalk som kollapsar kan innebära att intilliggande takfackverksbalkar blir instabila och i sin tur leda till progressiv kollaps. Ytterligare en kollapstyp som kan vara trolig att uppstå är mixed-type-kollaps, alltså en kombination av ovan nämnda kollapstyper.

3.5 Metoder för att uppnå robusthet

Det finns vissa egenskaper i en konstruktion som är viktiga att uppnå för att erhålla en robust konstruktion. Nedan följer övergripande tillvägagångssätt som kan användas för att uppnå en robust konstruktion (Sørensen, u.d):

- Identifiering av nyckelelement
- Förebygga progressiv kollaps
- Göra konstruktionen redundant
- Göra konstruktionen duktil

Tillvägagångssätten beskrivs mer ingående nedan.

Identifiering av nyckelelement

Identifiering av nyckelelement går ut på att de element vars kollaps skulle resultera i en omfattande kollaps av strukturen identifieras. Dessa element förstärks därefter för att motverka större skador än vad som är tillåtet (Canisius, 2011).

Förebygga progressiv kollaps

För att en konstruktion ska vara robust ska den initiala skadan inte leda till en oproportionerlig stor skada, en progressiv kollaps. Därför ska konstruktioner utformas så att bärande element har ett motstånd mot progressiv kollaps till exempel genom att noggrant utforma förband eller att materialet har tillräckligt hög skjuvhållfasthet (Sørensen, u.d).

Redundant konstruktion

En nyckelfaktor för en robust konstruktion är att konstruktionen är redundant. Redundans är en egenskap som kan förebygga oproportionerlig kollaps i en struktur. Redundans innebär i generella termer att en last kan omfördelas i konstruktionen via alternativa lastvägar då en byggnadsdel förlorar sin lastbärande förmåga (Starossek & Haberland, 2010) . För att uppnå en redundant konstruktion används huvudsakligen vertikala och horisontella förband.

Duktil konstruktion

Duktilitet är en strukturs förmåga att upprätthålla stora plastiska deformationer utan att brott uppstår. Det är en egenskap som kan vara på både lokal nivå och på global nivå i systemet. Duktilitet kan anses öka robustheten av en konstruktion (Starossek & Haberland, 2010). Om ett duktilt system går till brott blir det ett duktilt brott vilket innebär ett segt brott, alltså inte ett sprött plötsligt brott (Canisius, 2011).

Begreppet robusthet är redan definierat i kapitel 3.3.1 och utifrån den definition som används i arbetet är robusthet en egenskap som möjliggör att ett system kan motstå oförutsedda eller ovanliga omständigheter utan oacceptabla konsekvenser eller risker. Canisius (2011) samt Starossek och Haberland (2008) delar in omständigheter som kan orsaka fel i en struktur i två kategorier. Dessa kategorier är följande:

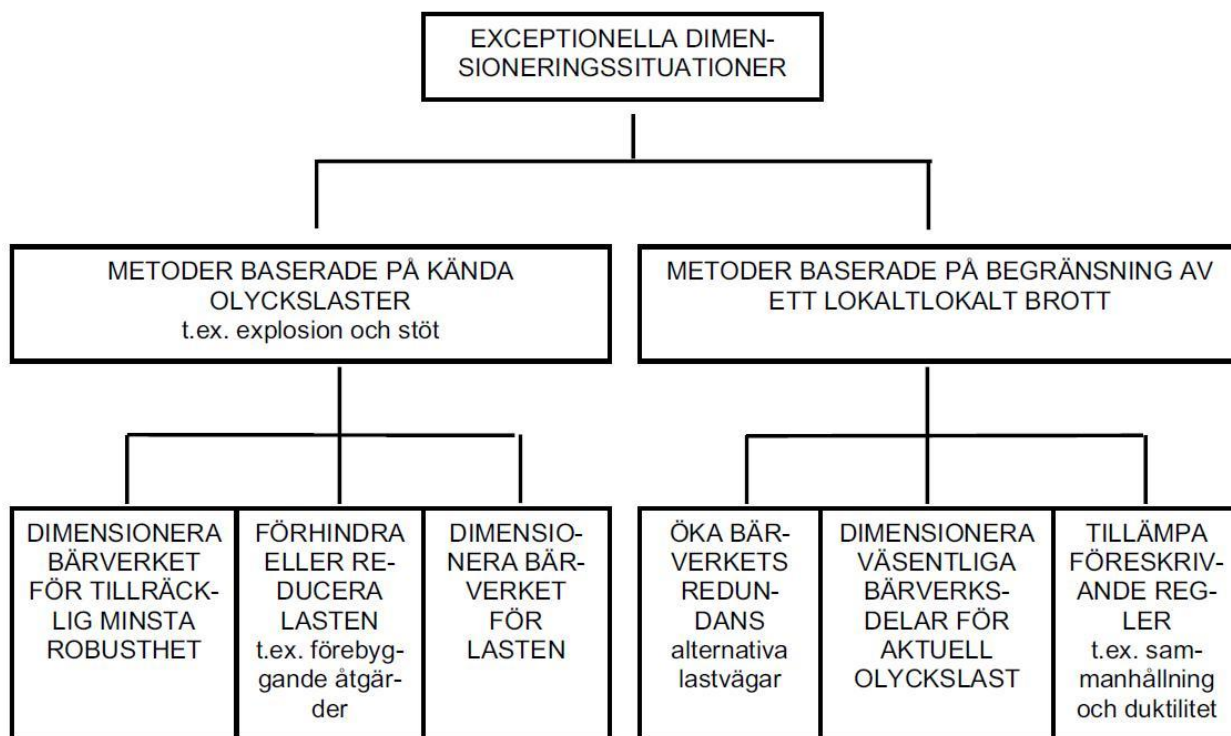
- Extrema men förutsedda händelser, till exempel interna gasexplosioner, bränder eller effekter av fordon
- Extrema oförutsedda händelser som inte kan identifieras eller vars intensitet inte är känd, till exempel bombexplosioner

De två typer av omständigheter som kan inträffa innebär att vid konstruktion för robusthet tar man även hänsyn till ”what if”-scenarier. Då görs en scenarioanalys vars syfte är ta reda på vad som händer med konstruktionen om någon extrem förutsedd eller oförutsedd händelse inträffar. Målet med verifiering av robusthet är att begränsa konsekvenserna av en lokal skada av förutsedda och oförutsedda händelser. Ett strukturellt system måste ha tillräcklig reservkapacitet för att systemet ska klara av de förhållanden som uppstår på grund av oförutsedda händelser eller omständigheter (Canisius, 2011).

För att uppnå en robust konstruktion finns det olika metoder/åtgärder att tillgå, som till viss del innehåller de egenskaper som beskrivits ovan. Nedan beskrivs Eurokods förfarande för att uppnå en robust byggnad. När Eurokods tillvägagångssätt har beskrivits presenteras de enligt litteraturen vanligaste metoderna/åtgärderna för att uppnå en byggnad där risken för progressiv kollaps minimeras. Metoderna kan tillämpas på antingen ett direkt eller indirekt sätt. De vanligaste metoderna är, *händelsekontroll, skydd mot onormala händelser, ökat lokalt motstånd, alternativa lastvägar* och *segmentering*, se exempelvis Sykora et al, (2011) och Starossek och Haberland (2010).

3.5.1 Eurokod

I Eurokod, SS-EN1990, beskrivs hur ett bärverk ska dimensioneras och utföras så att bärverket inte skadas av händelser så som explosion, påkörning och konsekvenser av mänskliga misstag. Ytterligare information om hur dimensioneringen ska gå till ges i SS-EN 1991-1-7 som berör olyckslaster. Figur 3.1 nedan visar hur dimensionering ska gå till vid exceptionella situationer, till exempel brand, enligt SS-EN1991-1-7. Exceptionella situationer är sällsynta och kan vara extrema händelser.



Figur 3.1 - Dimensioneringsgång vid exceptionella situationer, (SIS, 2006)

Figur 3.1 visar de två olika dimensioneringsmetoderna eller strategierna och de beskrivs mer ingående nedan.

Första metoden är baserad på kända olyckslaster, till exempel invändiga explosioner, brand samt stöt. För att minska risken för kollaps på grund av olyckslaster används vissa åtgärder och de åtgärderna kan vara en eller flera av följande metoder (SIS, 2006):

- Dimensionera bärverket så att det kan säkerställas att bärverket har tillräcklig robusthet. Detta görs i sin tur genom användning av en eller flera av följande metoder:
 - 1) Öka sannolikheten för att bärverket ska klara av en olyckshändelse genom att speciellt beakta de komponenter som påverkar systemets stabilitet
 - 2) Välja material och utforma bärverksdelar så att de har goda deformationsegenskaper som kan absorbera energi utan att brott uppstår
 - 3) Göra systemet tillräckligt redundanter
- Förhindra eller reducera lastfallet till en acceptabel nivå
- Utforma bärverket så att det kan upprätthålla lasten

Den andra metoden är baserad på att risken för ett lokalt brott i bärverket ska minskas. Dimensionering för att begränsa det lokala brottet görs genom en eller flera av följande tillämpningar (SIS, 2006):

- Öka bärverkets redundans. Detta kan göras genom att dimensionera bärverkets stabilitet så att stabiliteten som helhet inte riskeras av ett lokalt brott. Stabiliteten kan till exempel ökas genom alternativa lastvägar.
- Dimensionera väsentliga bärverksdelar för aktuell olyckslast. Detta är det samma som att identifiera och förstärka nyckelelement.
- Använda och tillämpa föreskrivna regler för dimensionering och detaljutformning som ger bärverket en acceptabel robusthet. Acceptabel robusthet kan till exempel uppnås genom hög duktilitet.

De ovan nämnda dimensioneringsmetoderna baseras på tre konsekvensklasser, konsekvensklass 1, 2 och 3. Konsekvensklass innebär att det är konsekvenserna av ett brott hos bärverket som beaktas, alltså klassificering av brottets konsekvens. Figur 3.2 visar de olika konsekvensklasserna med en tillhörande beskrivning samt exempel på byggnader och anläggningar (SIS, 2006).

Konsekvensklass	Beskrivning	Exempel på byggnader och anläggningar
CC3	Hög risk för dödsfall, <i>eller mycket stora</i> ekonomiska, samhälleliga eller miljö-betingade konsekvenser	Läktare, offentliga byggnader där konsekvenserna av en kollaps är allvarliga (t.ex. konserthallar)
CC2	Normal risk för dödsfall, betydande ekonomiska, samhälleliga eller miljö-betingade konsekvenser	Bostadshus och kontorsbyggnader, offentliga byggnader där konsekvenserna av en kollaps är normala (t.ex. kontorsbyggnader)
CC1	Liten risk för dödsfall, <i>och små eller försumbara</i> ekonomiska, samhälleliga eller miljöbetingade konsekvenser	Jordbruksbyggnader där personer normalt inte vistas (t.ex. lagerbyggnader), växthus

Figur 3.2 - Konsekvensklasser och beskrivning, (SIS, 2010a)

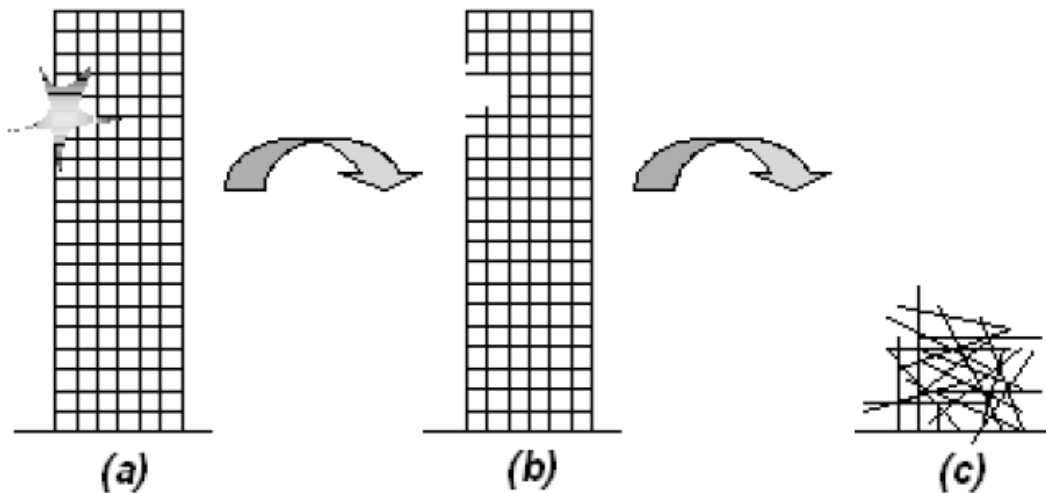
Exceptionella dimensioneringssituationer beaktas på olika sätt beroende på vilken konsekvensklass som är aktuell (SIS, 2006).

- Konsekvensklass 1, CC1, hänsyn behöver inte tas till olyckslaster utöver att det säkerställs att tillämpliga krav på robusthet och stabilitet uppfylls enligt Eurokod.
- Konsekvensklass 2, CC2, innebär att det antingen görs en förenklad analys av bärverket eller att föreskrivna regler om dimensionering och detaljutformning används.
- Konsekvensklass 3, CC3. För att bestämma nödvändig säkerhetsnivå och omfattning av bärverksanalysen görs en undersökning av det specifika fallet. Detta kan kräva att en riskanalys måste utföras och det innebär att en systematisk riskvärdering av byggnaden görs där både förutsägbara och oförutsägbara risker beaktas.

Beroende på vilken konsekvensklass en byggnad hänförs till beaktas konstruktionens robusthet i olika utsträckning. Ju högre konsekvensklass desto större utredningar behöver göras för att undersöka vad som händer med konstruktionen vid exceptionella situationer, till exempel brand. Användandet av de ovan beskrivna strategierna tillsammans med konsekvensklasserna ska enligt Cansius (2011) leda till en tillräcklig robusthet i en byggnad. Skillnaden mellan de olika konsekvensklasserna är med andra ord hur noggrant en byggnad behöver analyseras med avseende på konsekvenserna av ett brott.

Riskanalys

I figur 3.3 illustreras de tre steg i en riskanalys av bärverk som är utsatta för olyckslaster enligt SS-EN 1991-1-7. Figuren kan förklaras som att en lokal skada uppstår (a), på grund av den lokala skadan (b) kommer strukturen att kollapsa eller ej (c).



Figur 3.3- Illustration av en riskanalys, (SIS, 2006)

En mer övergripande förklaring av figur 3.3 är (SIS, 2006):

- Steg 1: Bedömning av sannolikheten för att olika risker med tillhörande intensiteter förekommer
- Steg 2: Bedömning av sannolikheten för olika skadetillstånd och tillhörande konsekvenser för givna risker uppträder
- Steg 3: Bedömningen av sannolikheten för att otillräcklig(a) eller felaktig(a) funktion(er) hos det skadade bärverket och tillhörande konsekvenser uppträder

För att minimera risken för kollaps föreslås i Eurokod, SS-EN 1997-1-7 någon eller några av följande riskbegränsande åtgärder:

- Förhindra förekomsten eller minska intensiteten av faran/risken
- Undvika faran/risken genom att ändra utformningen eller verksamheten
- Undvikande av en kollaps genom riskkontroller
- Minska risken genom ökad bärförmåga eller ökad robusthet
- Tillåta kontrollerad kollaps av bärverket om risken för dödsfall är låg

Eurokod beskriver hur ett bärverk ska klara av att stå emot olyckslaster. Eurokod ger en kvalitativ beskrivning och bild av hur robusthet ska uppnås i en konstruktion. Beroende på vilken konsekvensklass byggnaden/konstruktionen hamnar i beaktas robusthetsaspekten på olika nivåer. Trots att en byggnad kategoriseras som konsekvensklass 1 kan det finnas idé att ha ett vidare robusthetstänk än det Eurokod förespråkar. Detta beror på att en progressiv kollaps då kan förhindras och exempelvis kan ekonomiska värden räddas.

3.5.2 Direkt och indirekt tillvägagångsätt

Det finns idag ingen allmän strategi för att uppnå robusthet i en konstruktion på grund av att en lokal kollaps kan fortplantas på olika sätt (Canisius, 2011). I exempelvis Sykora et al. (2011), Canisius (2011) och Starossek och Haberland (2009) nämns två övergripande dimensioneringssätt som används för att motverka fortskridande kollaps, nämligen direkt och indirekt dimensionering. Vid direkt dimensionering visas det under konstruktionsprocessen att konstruktionen har tillräckligt motstånd/styrka att motstå ett specificerat riskscenario. Detta kan till exempel göras genom strukturella analyser som

visar att nyckelelement klarar av de specificerade scenariona och att alternativa lastvägar klarar att omfördela lasterna.

Indirekt dimensionering syftar till att öka motståndet mot progressiv kollaps i en konstruktion genom att bygga in egenskaper som ökar robustheten. Detta görs genom att egenskaper som erkänt ökar robustheten byggs in. Till skillnad mot det direkta dimensioneringssättet tas vid indirekt dimensionering ingen hänsyn till laster eller riskscenarier och det visas inte att resultatmål uppnås (Sykora et al., 2011).

Indirekt dimensionering grundas på att byggnaden förses med exempelvis spänningsförband och att strukturen görs duktil så att "catenary actions" (bärlineverkan) kan uppstå, se figur 3.4. Direkt dimensionering bygger på att nyckelelementen ska stå emot en känd onormal händelse eller att de kvarstående lastvägarna i konstruktionen är tillräckliga för att begränsa och stoppa en fortskridande kollaps (Sykora et al., 2011). I Eurokod finns inslag av alla dessa parametrar vilket tyder på att Eurokod baseras på både direkt och indirekt dimensionering.

Nedan beskrivs tillgängliga dimensioneringsmetoder som kan vara både direkta och indirekta beroende på i vilket sammanhang de tillämpas.

Händelsekontroll

Händelsekontroll reducerar eller förebygger sannolikheten för förekomst och minskar intensiteten av en onormal händelse som verkar på konstruktionen och som kan leda till progressiv kollaps. Metoden gäller enbart för de onormala händelser som kan förväntas eller för identifierbara risker. Metoden ökar inte det inbyggda kollapsmotståndet i konstruktionen utan behandlar enbart de hot som kan leda till en kollaps (Starossek & Haberland, 2010).

Skydd mot onormala händelser

Skydd mot onormala händelser syftar till att reducera sårbarheten i en konstruktion. Konstruktionens sårbarhet reduceras genom att minska risken för att konstruktionen och dess nyckelelement utsätts för onormala händelser och därmed minskar risken för lokal skada (Starossek & Haberland, 2010). Detta kan åstadkommas genom att uppföra exempelvis externa skyddsbarriärer eller kapsla in känsliga delar av konstruktionen (Sykora et al., 2011).

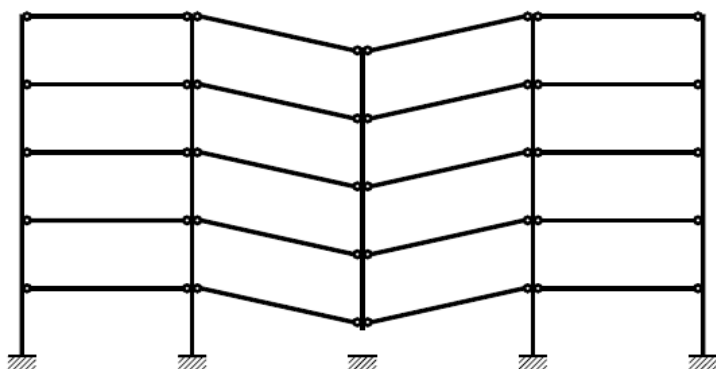
Ökat lokalt motstånd

Sårbarheten i en konstruktion kan även reduceras av ökat lokalt motstånd. Denna metod syftar till att förebygga en initial skada som uppkommer på grund av en onormal händelse och som kan leda till progressiv kollaps. Metoden kan fokusera på att identifiera nyckelelement och konstruera dem för att motstå en känd onormal händelse och då rör det sig om direkt dimensionering. Metoden förekommer även inom indirekt dimensionering då föreskrivna utformningar av konstruktionskomponenter används för att nå ett ökat lokalt motstånd (Haberland & Starossek, 2009).

Alternativa lastvägar

Alternativa lastvägar innebär att en last kan omfördelas på andra lastbärande element. Metoden ger en möjlighet att omfördela lasten som burits av ett kollapsat element för att på så sätt förebygga att en kollaps sprider sig (Starossek & Haberland, 2010). Alternativa lastvägar kan uppnås genom till exempel duktilitet som ger lasten möjlighet

att överföras till andra lastbärande element då ett element kollapsar. Då duktila konstruktioner inte ger några spröda brott kan de kollapsande elementen bli hängande och lasten/kraften kan överföras via bärlineverkan (catenary actions) till de resterande lastbärande elementen (Liu, 2010). Bärlineverkan innebär att till kollapsen närliggande element tar upp de horisontella krafter som uppstår och för vidare dessa i konstruktionen. I figur 3.4 visas ett konstruktionssystem som uppvisar bärlineverkan på grund av en lokal skada, i detta fall bortfall av en pelare. För att möjliggöra bärlineverkan krävs att elementen klarar dragkrafterna som uppstår i konstruktionen. Genom att öka kontinuitet, hållfasthet och duktilitet i en konstruktion möjliggörs alternativa lastvägar som ökar robustheten.



Figur 3.4 - Principskiss över "catenary actions", (Liu, 2010)

Segmentering

För att öka robustheten i en konstruktion kan även segmentering användas. Segmentering innebär att konstruktionen är indelad i olika segment. Spridningen av en kollaps på grund av en initial skada förhindras eller begränsas på grund av att den kollapsade strukturen är isolerad från den övriga strukturen. Segmentgränserna utgörs av starka element som kan stå emot en kollaps eller av svaga element där kollapsade element delas av från resten av strukturen (Haberland & Starossek, 2009). Målet med segmentering är att en kollaps inom ett segment maximalt kommer resultera i en kollaps motsvarande segmentets storlek.

3.6 Jämförelse av designmetoder för robusthet

Designmetoderna *skydd mot onormala händelser* och *ökat lokalt motstånd* är proaktiva åtgärder som förebygger och förhindrar brottinitiering och på detta sätt förhindrar att en initial skada uppstår. *Alternativa lastvägar* och *segmentering* är reaktiva metoder som syftar till att öka robustheten i en konstruktion när en initial skada har skett. Metoderna för att öka robustheten utformas så att spridningen av en initial skada begränsas till en acceptabel omfattning (Starossek & Haberland, 2012). Nedan görs en jämförelse av de två metoderna som ökar robustheten i en konstruktion. Jämförelsen görs eftersom rapporten syftar till att ta reda på hur en byggnad med stålkonstruktion görs mer robust och hur progressiv kollaps kan undvikas utifall att en balk kollapsar eller förlorar sin bärförmåga på grund av en lokal brand.

3.6.1 Jämförelse av alternativa lastvägar och segmentering

Strukturell redundans uppnås vid förekomsten av alternativa lastvägar vilket innebär att redundans uppnås genom konstruktionens förmåga att omfördela laster. Alternativa

lastvägar kräver en viss kontinuitet i konstruktionen och utnyttjar elementens förmåga att samverka (Starossek & Haberland, 2012). Segmentering kräver reducering av kontinuiteten vid segmenteringsgränserna. Detta för att gränserna måste klara av att ta upp antingen stora krafter eller stora förskjutningar. Segmentering syftar till att minska elementens samverkan med varandra för att uppnå ett visst mått av oberoende så att resterande delar av konstruktionen behåller sin bärförmåga vid bortfall av ett segment (Starossek, 2006).

Att använda segmentering framför alternativa lastvägar kan vara att föredra trots att alternativa lastvägar kan användas. Detta beror på att den kontinuitet som krävs vid alternativa lastvägar vid vissa omständigheter snarare kan främja en kollaps istället för att förebygga kollaps. Detta kan ske då elementen är väl infästa i varandra men inte tillräckligt starka för att bära de omfördelade lasterna. Då kan kontinuiteten vara skadlig eftersom de alternativa lastvägarna inte är tillräckligt starka för de laster som överförs på grund av kontinuiteten (Starossek & Wolff, 2005). Om det är omöjligt eller väldigt dyrt att tillhandahålla alternativa lastvägar med tillräcklig bärförmåga är segmenteringsmetoden att föredra. Om det inte kan tillåtas att byggnadsdelar eller dylikt faller ned är metoden med alternativa lastvägar att föredra. Sådana typer av händelser kan vara att nedfallande material faller på nyckelelement i konstruktionen. Den stötblastning som uppstår då är svår att dimensionera för. Alternativa lastvägar är då att föredra eftersom konstruktionen då blir dimensionerad för att klara en omfördelning av lasterna. Om ett nyckelelement slås ut vid segmentering finns risken att kollapsen berör hela segmentet medan det vid alternativa lastvägar ska begränsas till en kollaps av enbart det berörda nyckelelementet (Starossek, 2006).

Ett exempel på en byggnad där progressiv kollaps inträffade var Ronan Point i London. Den progressiva kollapsen berodde på en explosion och avsaknaden av kontinuitet i armeringen i bjälklagen (Starossek, 2006). Det var dock enbart det ena hörnet av byggnaden som kollapsade medan resterande byggnad stod kvar. Den omedvetna diskontinuiteten i armeringen ledde till en form av segmentering som faktiskt kan ha bidragit till att resten av byggnaden inte drogs med i kollapsen (Starossek, 2006).



Ytterligare ett exempel där segmentering har åstadkommit via diskontinuitet som förmodligen har förhindrat omfattande kollaps är kollapsen av Charles de Gaulle-flygplatsterminalen i Paris. Den kollaps som inträffade initierades på grund av fel på en del av taket som berodde på dåligt utförande och brister i konstruktionen, se figur 3.5 (Starossek, 2006).

Figur 3.5 - Kollaps av Charles de Gaulle flygplatsterminalen, (Starossek, 2007b)

Av figur 3.5 framgår det tydligt var diskontinuiteterna i strukturen är på båda sidor om kollapsen. Ifall kontinuitet hade funnits mellan konstruktionsdelarna hade förmodligen kollapsen fortsatt då även de intilliggande konstruktionsdelarna innehöll brister (Starossek, 2007b).

När det gäller alternativa lastvägar uppnås dessa på olika sätt i olika byggnader. I en byggnad med redan hög bärförmåga, det vill säga där angränsande byggnadsdelar kan klara en lastökning, krävs kanske en ökad kontinuitet. I andra byggnader kan det krävas att både bärförmåga och kontinuiteten ökas. En segmenterad konstruktion karaktäriseras istället av en låg grad av kontinuitet eller ökad bärförmåga.

Andra skillnader mellan metoderna är vilka storlekar på en initial skada de lämpar sig bäst för. Alternativa lastvägar innebär att hela strukturen påverkas. Detta leder i sin tur till att möjligheten att minska omfattningen av en kollaps minskar med en ökning av den initiala skadans storlek eftersom en större skada innebär att större laster ska omfördelas i de resterande lastvägarna (Starossek & Haberland, 2012). Därför passar alternativa lastvägar bäst för mindre initiala skador. Segmentering däremot lämpar sig för de fall då man riskerar större initiala skador. Detta beror på att dess effektivitet att minska omfattningen av en kollaps är okänslig för den initiala skadans storlek, förutsatt att skadan inte är större än segmentet, då kollapsen begränsas till det berörda segmentet (Starossek & Haberland, 2012).

De båda metoderna kan kombineras. Ett kombinerings sätt kan vara att använda alternativa lastvägar inom de olika segmenten. Detta kombinerings sätt gör att robustheten ökar för både stora och små initiala skador (Starossek, 2007b).

3.7 Systematiska fel

Undersökningar av ett flertal krascher har visat att krascherna ofta berott på omedvetna fel och brister som systematiskt byggts in i konstruktionen (Frühwald et al., 2007). Dessa brister har ofta uppkommit på grund av felaktig dimensionering eller dåligt uppförande under byggskedet. Felen kan även bero på missförstånd som uppkommit mellan designskedet och byggskedet, exempelvis att det behövs ett visst antal bultar i förbanden men att det i förbandet får plats färre bultar än vad som anges eller att bulttypen bytts ut mot en svagare typ (Frühwald et al., 2007).

Ett exempel på en byggnad där systematiska fel byggdes in är Siemens Arena, numera Ballerup Super Arena, i Danmark. I januari 2003 kollapsade delar av taket när två huvudbalkar kollapsade, se figur 3.6 (Frühwald et al., 2007). Undersökningen som gjordes därefter visade att flera fel hade gjorts relaterat till den strukturella analysen och



Figur 3.6 - Kollapsen av taket i Ballerup Arena, (Frühwald et al., 2007)

den konceptuella modellen av den primära strukturen. Dessa fel hade alltså följt med genom uppförandet och systematiskt byggts in i konstruktionen. Felen ledde bland annat till att förband i huvudbalkarna blev fel uppförda. Dessa systematiska fel tros vara orsaken till kollapsen (Frühwald et al., 2007).

Det som startade kollapsen var att ett av förbanden i en huvudbalk kollapsade vilket också ledde till att hela balken kollapsade. Alla förbanden i huvudbalkarna var utformade på samma felaktiga sätt och konstruktionen var inte sammankopplad. På grund av att en huvudbalk kollapsade omfördelades lasterna och då kollapsade även en intilliggande huvudbalk. Totalt var det alltså enbart två balkar som kollapsade (Frühwald et al., 2007). Kollapsen begränsades till två takbalkar men om takbalkarna i högre grad varit sammankopplade hade kollapsen antagligen fortskridit och dragit med sig ännu fler av de intilliggande takbalkarna. Som konstruktionen nu var designad var takbalkarna i stor utsträckning frånkopplade från varandra vilket innebär att konstruktionen kan anses ha ett visst mått av robusthet då det enbart var två huvudbalkar som kollapsade och en progressiv kollaps undveks.

Ytterligare ett exempel på en byggnad där systematiska fel hade byggts in är Stadium Southland på Nya Zeeland där taket kollapsade 2010. Bidragande faktorer till att arenataket kollapsade var ett kraftigt snöfall och brister i konstruktionens stålfackverkstak (Department of Building and Housing, 2012). Bristerna i konstruktionen fanns i synnerhet i fackverksutformningen där bristerna uppstått på grund av designfel och konstruktionsändringar samt fel i den svetsning som utfördes på plats. Undersökningen som gjordes efter kollapsen visade även att tillverkning av byggnadsdelar som skedde både ”off-site” och ”on-site” inte överensstämde med de ritningar eller stål- och svetsningsstandarder som använts för dimensioneringen (Department of Building and Housing, 2012). Kollapsen initierades i en av fackverksbalkarna och kollapsen fortskred till närliggande fackverksbalkar. Fackverksbalkarna drog även med sig sina tillhörande pelare vilket ledde till en omfattande kollaps av arenan (Department of Building and Housing, 2012). Konsekvenserna av den initiala kollapsen blev i detta fall mycket stora vilket tyder på att byggnaden ej var robust då konsekvenserna blev oproportionerligt stora i relation till händelsen som orsakade skadan.

Kollapsen av Ronan Point, som tidigare nämnts, berodde också på inbyggda systematiska fel. Felen var att betongelementen inte var tillräckligt sammanfogade, men tack vare att elementen inte var det ledde det till att enbart delar av byggnaden kollapsade och resterande byggnad stod kvar oberörd.

Kollapserna i Ronan Point och Siemens arena påvisar att de systematiska felen inte nödvändigtvis är av ondo. Eftersom kollapserna inte kan dra med sig några närliggande element då felen leder till att de inte är ihopkopplade med varandra avstannar kollapsen vid de diskontinuiteter som uppstår i byggnaden. Att hoppas att systematiska fel ska förhindra fortskridande kollaps är dock ingen bra strategi. Felen kan uppenbarligen både initiera och leda till omfattande kollaps och felen ska därför minimeras för att undvika en eventuell kollaps.

3.8 Stomstabilisering och laster

I detta delkapitel beskrivs hur en hallbyggnad stabiliseras och vilka laster som ska användas vid dimensionering. En hallbyggnads bärverk delas ofta in i en primär- och en sekundärstomme. Den primära strukturen utgörs ofta av takbalkar och pelare och det är de elementen som primärt för ner lasterna till grunden. Den sekundära strukturens huvudsakliga uppgift är att föra över lasterna till den primära strukturen. Den sekundära strukturen utgörs av takplåt, takåsar, väggplåt och väggreglar. Stomstabilisering i form av vindstag i väggar och tak, och takplåten om den används som stabiliserande skiva, tillhör den primära konstruktionen (Isaksson, Mårtensson, & Thelandersson, 2010b). Det horisontella bärverket är bland annat balkar och plattor och deras uppgift är att bära last i horisontell riktning. Det vertikala bärverkets uppgift är att bära last i vertikalled och det vertikala bärverket består av pelare, väggar och skivor (Isaksson et al., 2010b).

3.8.1 Stomstabilisering

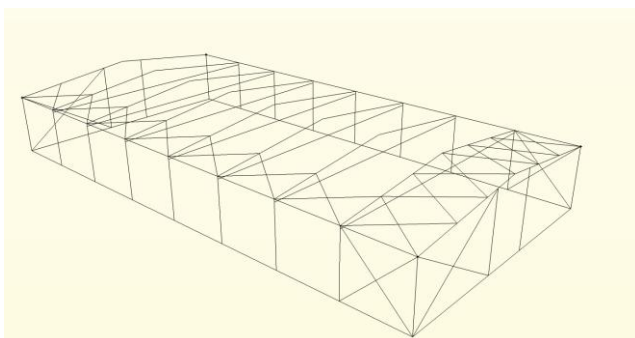
Det bärande system som bär upp de horisontella lasterna i en konstruktion benämns stomstabilisering. Horisontella laster är framförallt vindlaster, snedställningskrafter och excentriska laster. Det finns tre olika stabiliseringsmetoder och metoderna är följande (Isaksson et al., 2010b):

- Fackverk
- Ramverkan
- Skivverkan

De tre metoderna kombineras ofta. Valet av stomstabiliseringssystem beror bland annat på byggnadens utformning, grundläggningsmöjligheter och kostnader (Isaksson et al., 2010b). Vanligt i en hallbyggnad i Sverige är att använda sig av skivverkan i taket och fackverk i väggarna (Höglund, 2012). De olika stabiliseringsmetoderna beskrivs nedan, där en större vikt kommer att läggas på kombinationen av skivverkan och fackverk eftersom att det är en vanlig kombination i Sverige.

Fackverk

När stomstabilisering görs med hjälp av fackverk kallas fackverken ofta för vindförband. Vindförband finns både i taket och i väggarna men även takbalkarna och pelarna ingår i det stabiliserande fackverket. Vindförband i takets långsida överför horisontalkrafterna från vindlasten, som kommer tvärs emot förbandet, till vindförband i gavlar/kortsidan där förbanden fördelar krafterna ner i grunden. Förband i takets gavel/kortsida transporterar krafterna från den längsgående vinden till förband i långsidorna som för krafterna vidare till grunden (Isaksson et al., 2010b). Figur 3.7 visar hur stomstabilisering via fackverk ser ut.



Figur 3.7 - Principskiss över hur stomstabilisering via fackverk kan se ut

Ramverkan

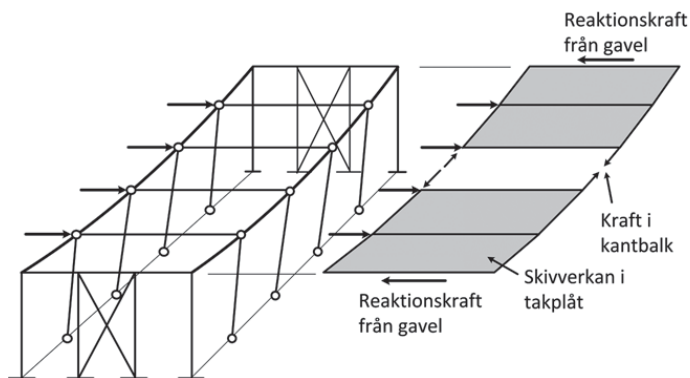
När ramverkan används som stomstabiliseringssystem innebär det att en styv ram åstadkoms så att inga ytterligare stabiliseringssystem krävs (Knutsson, u.d). Den styva ramen erhålls genom momentstyva hörn. Ramverkan i hallbyggnader kan uppnås genom antingen treledsram eller balk/pelarsystem (tvåledsram) med fast inspända pelare i grunden. Det är en fördel att använda en treledsram då denna är statiskt bestämd, medan tvåledsramen är statiskt obestämd. Vid val av konstruktion ska valet oftast hamna på enkla konstruktionstyper och därför är en statiskt bestämd konstruktion att föredra framför statiskt obestämda (Isaksson et al., 2010b). Att använda sig av ramverkan kräver kraftiga infästningar mellan komponenterna samt till grunden. Detta leder till att pelardimensionerna blir grova och därför används inte denna metod speciellt ofta i Sverige. Det är även svårt att montera momentstyva förband (Knutsson, u.d).

Skivverkan

Skivverkan används ofta som stomstabiliseringssystem i Sverige vid byggnation av hallbyggnader. Skivverkan används då i taket och det är själva taket som används som en skiva (Höglund, 2012). Skivor kännetecknas av att de är styva vid belastning i skivans eget plan. När skivverkan används är principen den att en del av den horisontella lasten förs upp i takskivan och skivan för ut lasterna till gavlarna där lasten förs vidare ner i grunden. Det vanligaste skivmaterialet är trapetsprofilerad tunnplåt som används både som takskiva och väggskiva (Isaksson et al., 2010b).

Det är dock sällan som väggarna utnyttjas som skivor, det är vanligare att det placeras vindförband i väggarna istället (Isaksson et al., 2010b). Detta beror på att hallbyggnader i Sverige ofta byggs med pendelpelare vilket innebär att pelarna är ledade både upptill och nedtill. För att en sådan ram inte ska kollapsa används taket som stöd, där stödet uppnås via skivverkan i taket och vindstag i väggarna (Höglund, 2012). Då skivverkan utnyttjas i taket blir byggnaden som en låda och pelarna får små dimensioner. Eftersom att inga momentstyva förband krävs är systemet lätt att montera (Höglund, 2012). Takplåten, oftast trapetsprofilerad plåt, som fungerar som skiva kan placeras antingen direkt på takfackverken eller på takåsarna. Det är viktigt att takplåtens infästningar är korrekta så att effekten av skivverkan inte tappas i taket (Stålbyggnadsinstitutet, 2008). För att effekten av skivverkan inte ska tappas kan skruvarna behöva placeras tätare i anslutningarna mot kantbalkarna och gavelbalkarna. Anslutningarna mellan takplåt och gavelbalkarna består av många skruvar för att de ska klara av vindsuget och vind mot långsidorna (Höglund, 2012).

Figur 3.8 visar hur stabiliseringssystemet med skivverkan i taket och vindstag i väggarna ser ut. Systemet ser ut på det sätt att vindlasten mot byggnadens långsidor överförs via pelare och takbalkar till takskivan. Om takplåten placeras på takåsarna är det åsarna som tar upp momentet i skivan och takplåten tar upp tvärkrafterna. Upplagskrafterna från skivan förs ner till grunden via väggfackverk i byggnadens gavlar. Väggfackverken åstadkoms vanligtvis med två diagonalstänger mellan två pelare. Anledningen till att två diagonaler används är för att föra ned lasten i en stång som utsätts för dragkrafter då det krävs mindre dimensioner för stänger som utsätts för dragkrafter jämfört med stänger som utsätts för tryckkrafter (Höglund, 2012).



Figur 3.8 - Skivverkan i taket där taket fungerar som en balk och gavlarna som upplag, (Höglund, 2012)

3.8.2 Laster och lastkombinationer

En hallbyggnad ska utöver vindlast även dimensioneras efter snölast. Snölasten varierar beroende på byggnadens geografiska placering. Takplåten ska inte bara dimensioneras för att klara av att verka som skiva vid upptagandet av vindlast utan den ska även klara av den vertikala lasten från snön. Lasten på grund av snön transporteras vidare till balkarna och vidare via pelarna ner till grunden (Isaksson et al., 2010b). Sug- och lyftkrafter på grund av vindlasten intill bland annat byggnadens hörn och krön kan vara stora. Därför är det viktigt att dimensionera infästningarna efter dessa krafter. En åtgärd kan vara att sätta åsarna närmare varandra (Stålbyggnadsinstitutet, 2008). Utöver vind- och snölast finns det några andra laster som också ska beaktas till exempel egentyingden av elementen och olyckslaster. Den lastkombination som används vid dimensionering vid brandfallet enligt ekvation 3.1:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Ekvation (3.1)}$$

G = Egentyngd

P = Förspänningskraft

A_d = Brandpåverkan

Q = Variabla laster

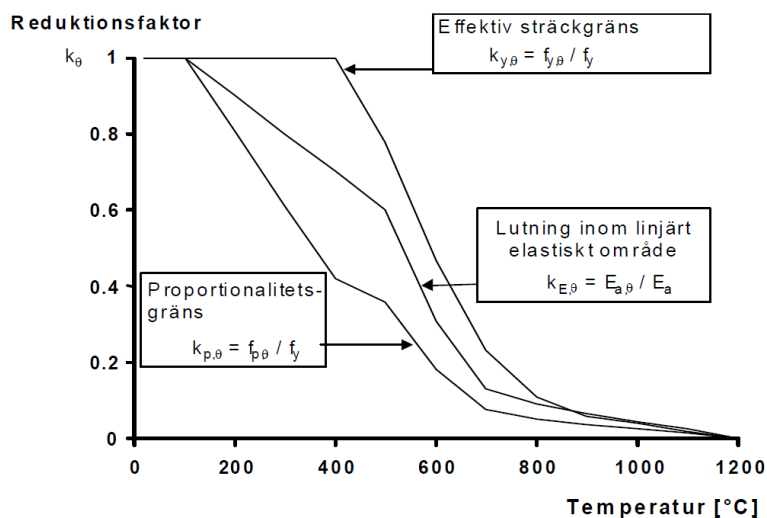
ψ = Lastkombinationsfaktor

De variabla lasterna inkluderas i ekvation 3.1, men i de fall då det finns flera variabla laster används ψ₂ som i alla fall är lägre än ψ₁ vilket innebär att kombineringsfaktorerna för de variabla lasterna behövs göras till dess att den största lasten har tagits fram. Detta innebär att vindlasten kan bli 0 om till exempel snölasten ger en större total last vid kombineringsfaktor enligt ekvation 3.1 (Isaksson & Mårtensson, 2010).

3.9 Temperaturpåverkan på konstruktionsstål

I en stålkonstruktion som utsätts för en brand reduceras hållfastheten samt styvheten på grund av den förhöjda temperaturen i stålet. Vid 450 °C har konstruktionsstålets bärförmåga reducerats med 70 % och vid ökade temperaturer sjunker hållfastheten sedan mycket kraftigt. På grund av att konstruktionsstålet som material har hög konduktivitet leds värme väldigt effektivt i materialet. Detta medför att värmen från en brand lätt kan spridas genom stålet och reducera dess hållfasthet (Isaksson et al., 2010a). Figur 3.9 visar reduktionsfaktorer för spännings-töjningsförhållande för kolstål vid

förhöjda temperaturer (SIS, 2010b). Som figuren visar reduceras sträckgränsen kraftigt vid förhöjda temperaturer.



Figur 3.9 - Reduktionsfaktorer för spännings-töjningsförhållande, (SIS, 2010b)

I denna rapport antas det att det är en lokal brand som orsakar att ett bärverkselement tappar sin bärförmåga. Lokala bränder kan ge upphov till lokalt höga temperaturer. Detta kan leda till att en del av ett bärverkselement tappar sin bärförmåga på grund av temperaturökningen i det fall då bärverksdelen utsätts för temperaturpåverkan från en lokal brand. På grund av detta är det viktigt att ha med sig ett globalt robusthetstänk då ökad robusthet leder till att risken för progressiv kollaps, då ett bärverkselement tappar sin bärförmåga, minimeras.

3.10 Resultat av litteraturstudien

Det som litteraturstudien resulterar i är vad som saknas i den tillgängliga litteraturen samt vad som finns tillgängligt för att uppnå målen med rapporten. När det gäller målet med att ta fram en metod för att avgöra sannolikheten för övertändning finns det bara knapphändig information. Som nämnts i avsnitt 3.2 är det effektutvecklingen som till stor del påverkar om övertändning inträffar eller ej. Tanken är alltså att använda sig av fördelningen av effektutvecklingar för att ta reda på sannolikheten för övertändning. Som beskrivits i kapitel 3.3 finns det inga värden på effektutvecklingar för de enskilda bränderna utan det finns bara beskrivet hur branden spridit sig och var den startat. På grund av detta används ett angreppssätt som går ut på att ta fram brandskadeområden för respektive brand och multiplicera dessa med en effektutveckling per kvadratmeter. Detta angreppssätt genererar en fördelning över total effektutveckling. Detta sätt att bedriva arbetet på används eftersom den tillgängliga litteraturen inte är tillräcklig för att direkt kunna ta fram fördelningar över effektutvecklingar över inträffade bränder.

Fördelningen över effektutvecklingen används genom att ta fram 99,5-percentilen och denna effektutveckling ansätts därefter i en byggnad för att kontrollera om övertändning sker. Om övertändning inte sker får dimensionering enligt lokal brand göras. När effektutvecklingen ansätts i en byggnad måste även byggnadens utformning beaktas eftersom att det inte enbart är effektutvecklingen som påverkar om övertändning sker eller ej.

Litteratursökningen kring målet med att ta reda på hur en robust byggnad uppförs beroende på dess utformning resulterade i en stor mängd litteratur. Det som har funnits i litteraturen är olika definitioner av begreppet robusthet och progressiv kollaps samt olika metoder för att uppnå robusthet. Dock saknas det information om hur en robust byggnad ska utföras rent kvantitativt, med andra ord är det svårt att avgöra om en konstruktion är robust eller ej då det inte finns något vedertaget sätt att mäta robusthet på. Eurokod beskriver ett tillvägagångssätt för att uppnå en robust byggnad. Utifrån konsekvensklassen avgörs det i vilken utsträckning den aktuella byggnaden behöver utredas med avseende på exceptionella händelser till exempel brand. Beroende på konsekvensklassen finns det därefter två strategier för att uppnå robusthet i en byggnad. I litteraturstudien har information angående hur en byggnad är uppbyggd beskrivits samt hur materialet stål påverkas vid förhöjda temperaturer.

Utifrån den litteratur som hittats görs i ett tillämpningsexempel en bedömning om hur en Br2-byggnad kan utformas för att få en ökad robusthet i brandfallet. I tillämpningsexemplet tas hänsyn till den teori som hittats i litteraturstudien. Målet är att ge exempel på hur en byggnad kan utformas ur ett robusthetsperspektiv för att minimera riskerna för progressiv kollaps vid en lokal skada till följd av brand.

4 Tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader

I följande kapitel beskrivs hur metoden för att hitta fördelningar för maximal effektutveckling i Br2-byggnader har utvecklats utifrån tillgänglig litteratur och statistik.

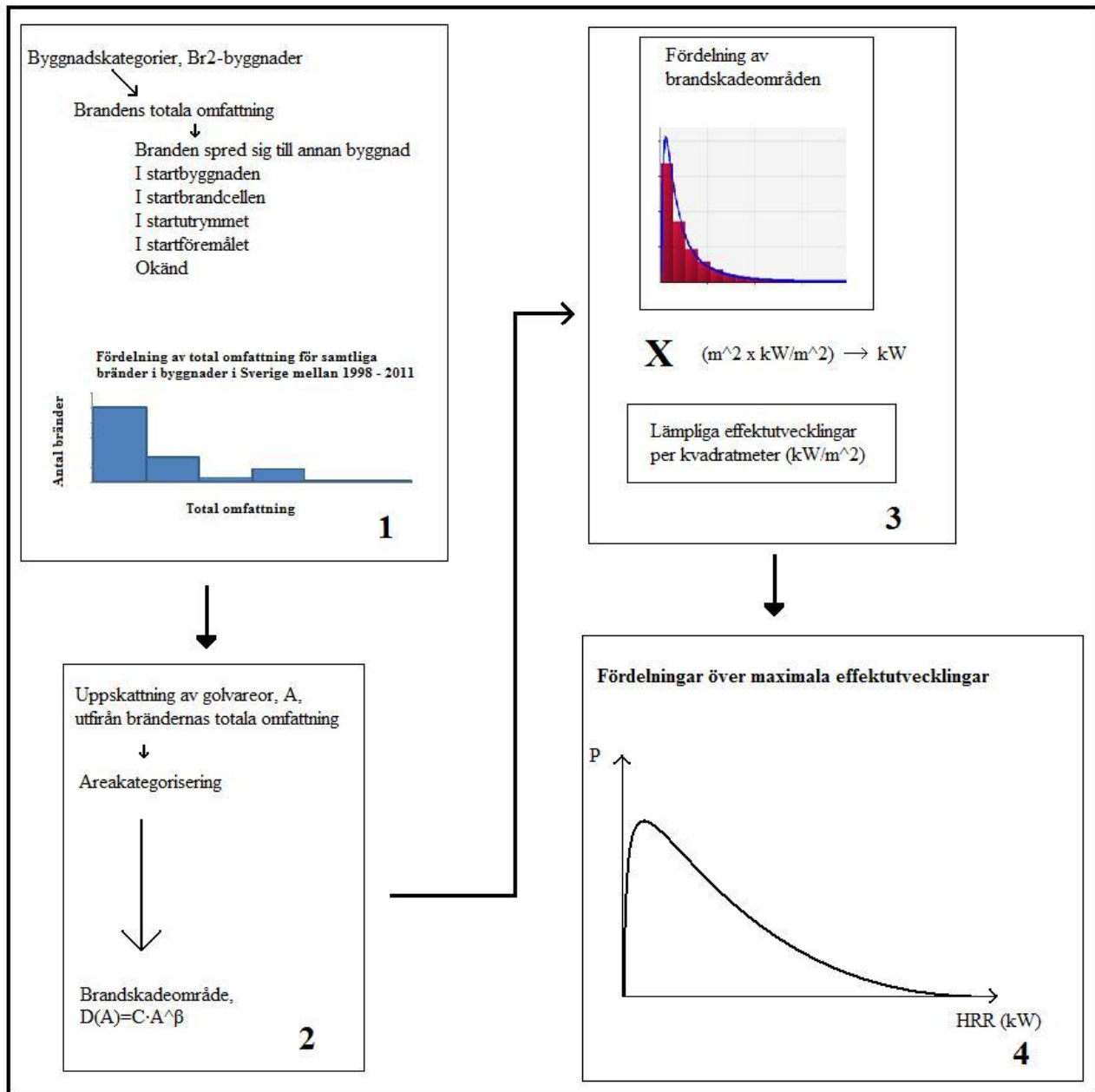
Ett av syftena med denna rapport är att ta fram ett tillvägagångssätt för att avgöra sannolikheten för övertändning i en byggnad. Detta för att kunna avgöra om dimensionering för lokal brand kan användas. Som nämnts i litteraturstudien är det effektutvecklingen som påverkar övertändning i stor utsträckning. För att hitta sannolikheten för övertändning i Br2-byggnader utvecklas en metod för att hitta fördelningen för maximal effektutveckling i Br2-byggnader.

Eftersom att det är av intresse att visa att sannolikheten för övertändning är mindre än 0,5 % för Br2-byggnader är det den effektutveckling i 99,5-percentilen som är av intresse. Om det kan visas att effektutvecklingen för branden i 99,5-percentilen inte leder till övertändning i avsedd byggnad får dimensionering enligt lokal brand göras.

Eftersom att det i litteratur och statistik inte finns några data över effektutvecklingar som uppstått vid bränder eller fördelningar över dessa effektutvecklingar i Br2-byggnader kommer metoden att tas fram med hjälp av följande steg:

- Statistik över inträffade bränder
- Framtagande av fördelning över brandskadeområden
- Hitta relevanta effektutvecklingar per kvadratmeter
- Framtagande av fördelning över maximal effektutveckling

Processen med att ta fram metoden åskådliggörs i figur 4.1 och de ingående stegen förklaras därefter.



Figur 4.1 – Flödesschema för framtagande av fördelningar över maximala effektutvecklingar

Nedan beskrivs vad varje delmoment i figur 4.1 innehåller.

1. Statistik över inträffade bränder

Metoden bygger på tillgänglig statistik över bränder som uppstått i byggnader som ofta är uppförda som Br2-byggnader. Statistiken utgör sedan ett underlag för att kunna uppskatta bränders effektutveckling och förekomst i en viss byggnadskategori.

2. Fördelning över brandskadeområde

I den tillgängliga statistiken finns inga numeriska data på det område som branden har skadat men det finns kvalitativ data angående brandens omfattning. Först görs en uppskattning av hur stor utbredning en brand i statistiken har haft. Med detta menas vilken golvarea som branden har påverkat. Bränderna i statistiken och dess utbredningar kategoriseras sedan i olika areakategorier. Utifrån dessa areor kan ett brandskadeområde

(m²) beräknas med en ekvation enligt Rasbash et al. (2004). På detta sätt fås en fördelning av brandskadeområden fram.

3. Effektutvecklingar per kvadratmeter

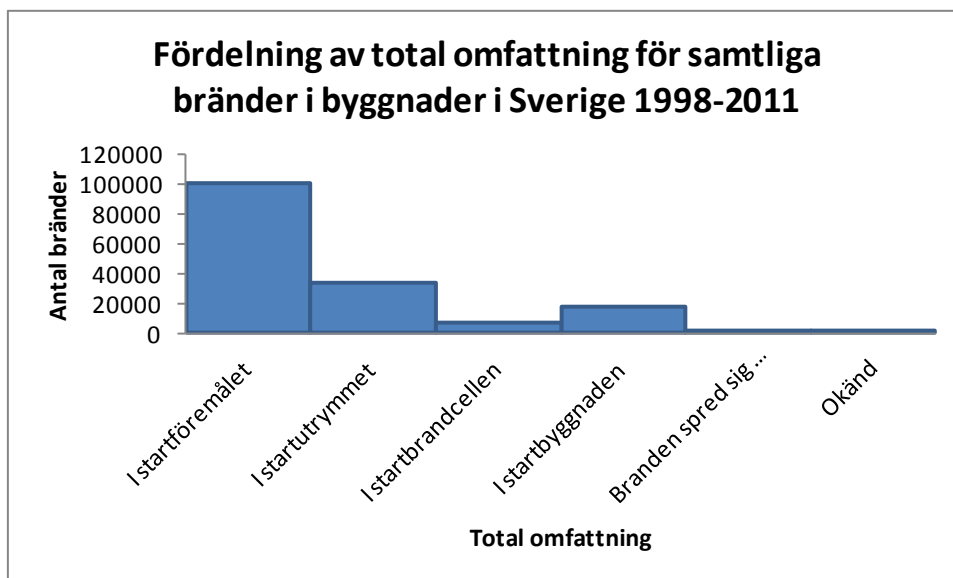
För att få fram total effektutveckling utifrån fördelningarna över brandskadeområden behöver brandskadeområdet multipliceras med en effektutveckling per kvadratmeter. Effektutveckling per kvadratmeter varierar beroende på vilken byggnadskategori och verksamhet som avses och därför kan inte en enskild effektutveckling per kvadratmeter användas genom rapporten. I rapporten appliceras ett antal effektutvecklingar per kvadratmeter för att visa på hur tillvägagångssättet ska användas.

4. Fördelning över maximal effektutveckling

Genom att multiplicera fördelningar över brandskadeområde med effektutveckling per kvadratmeter fås fördelningar över effektutvecklingar som uppstått i byggnader fram. Fördelningar över effektutvecklingar är det resultat som rapporten ämnar uppnå. De framtagna resultaten är dock enbart resultat av denna inledande studie och får ej användas för dimensionering.

4.1 MSB:s statistik över inträffade bränder

MSB:s statistik för bränder i byggnader mellan 1998-2011 finns indelad i ett flertal kategorier; brandorsak, brandens totala omfattning, startutrymme och startföremål. Figur 4.2 visar fördelningen över antalet inträffade bränder i respektive totala omfattningskategorier för alla byggnadskategorier i Sverige mellan 1998 – 2011. Figur 4.2 tyder på att fördelningen för den totala omfattningen för bränder i alla byggnadskategorier har en lognormalfördelad profil. Därför antas det att fördelningen är lognormalfördelad. Detta stämmer även överens med annan litteratur, exempelvis Holborn et al. (2004).

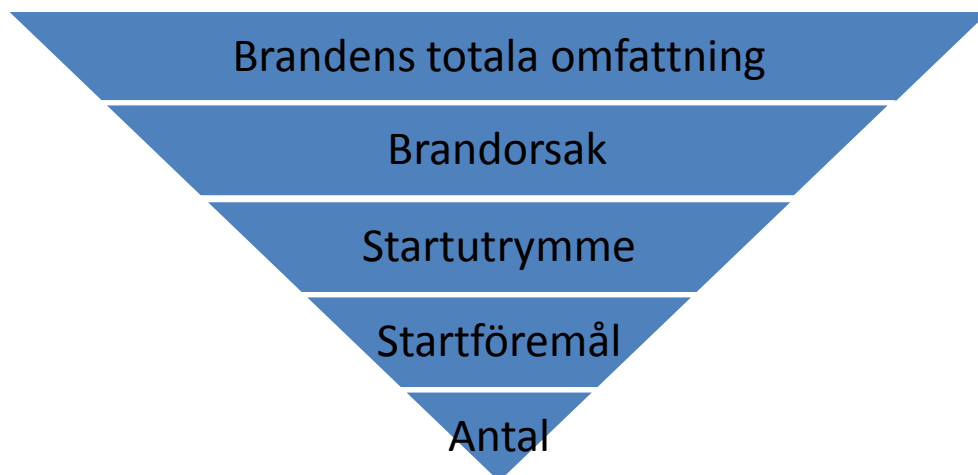


Figur 4.2 – Fördelning av total omfattning för samtliga bränder i byggnader i Sverige mellan 1998 - 2011

4.1.1 Kategorisering av statistiken

I detta delkapitel beskrivs hur statistiken har bearbetats och kategoriserats i grupper. Statistiken sammanställdes i Excel där brandens totala omfattning utgör den övergripande indelningen. Utifrån omfattningen sammanställdes även brandorsak, startutrymme, startföremål och antal bränder i varje underkategori enligt figur 4.3.

Brandens totala omfattning delas i IDA in enligt tabell 4.1 och samma indelning har använts i denna rapport. Brandens totala omfattning beskriver hur "stor" branden blev. Den beskriver med andra ord hur allvarlig branden var, till exempel om branden var begränsad till startutrymmet eller om branden spred sig till annan byggnad.



Figur 4.3 - Indelningskategorier för statistiken från IDA

Tabell 4.1 - Indelning av brandens totala omfattning som används i denna rapport

Brandens totala omfattning
Branden spred sig till annan byggnad
I startbyggnaden
I startbrandcellen
I startutrymmet
I startföremålet
Okänd

I brandens totala omfattning finns det en omfattning som benämns "Okänd", samt att det finns startutrymmen och startföremål som innehåller "Okänd". Det finns även andra startföremål och startutrymmen som inte går att veta vad det är för något. Dessa omfattningar, utrymmen och föremål måste hanteras och tas hänsyn till och detta innebär att vissa antagande måste göras. Hur detta görs visas i tillämpningsdelen av metoden i kapitel 5.

De data som analyseras kategoriseras efter total omfattning och startutrymme. Bränder som inte sprids utanför startföremålet kategoriseras ej efter startutrymme utan enbart efter startföremålet självt. Detta eftersom en brand som är begränsad till startföremålet ej sprider sig och att det finns tillgängliga data för area och effektutvecklingar för bränder i enskilda föremål i Initial Fires (Särdqvist, 1993).

Först och främst kategoriseras bränderna efter dess totala omfattning men brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst togs fram för att ge en fingervisning om hur kraftigt brandförloppet var. IDA:s fridykningsverktyg användes för att få fram brändernas omfattning vid räddningstjänstens ankomst. Brandens omfattning vid ankomst delas in enligt tabell 4.2, med allvarligast omfattning överst och sedan sjunkande till minst allvarlig.

Tabell 4.2 - Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst

Brandens omfattning vid ankomst
I flera brandceller
I startbrandcellen
I flera rum
I startutrymmet
I startföremålet
Branden släckt/slocknad
Endast rökutveckling

För att åskådliggöra hur de båda omfattningarna, total omfattning och omfattning vid räddningstjänstens ankomst, används ges ett exempel. Om brandens totala omfattning var att den var begränsad till startbrandcellen och omfattning vid räddningstjänstens ankomst var att branden inte spridit sig från startföremålet så indikerar detta på att brandens storlek var lägre jämfört med om branden vid ankomst hade spridit sig till startbrandcellen.

4.2 Fördelning av brandskadeområde

Brandskadeområden kommer att tas fram eftersom det i MSB:s statistik över inträffade bränder inte finns några värden för effektutveckling eller brandens storlek i kvadratmeter. Eftersom det är den totala effektutvecklingen som är av intresse så kommer brandskadeområden beräknas. Brandskadeområdet är det område som faktiskt har förbränts och därmed bidragit till brandens effektutveckling.

Ett troligt brandskadeområde tas fram med hjälp av en ekvation i Rasbash et al. (2004). Ekvationen, se ekvation 4.1, ger ett troligt brandskadeområde, $D(A)$, utifrån den totala golvarean, A , i det utrymme där branden uppstått.

$$D(A) = C \cdot A^{\beta} \quad (\text{Ekvation 4.1})$$

Med brandskadeområde avser Rasbash et al. (2004) den area som förstörts av branden alltså inte den area som enbart påverkats av branden. Konstanterna C och β är beroende av vilken sorts byggnad som avses samt den verksamhet som bedrivs i byggnaden. Konstanterna varierar enligt tabell 4.3.

Konstanterna är framtagna utifrån en undersökning av byggnader med verksamheterna som framgår av tabell 4.3 Undersökningen gjordes i Storbritannien för byggnader utan sprinkler (Rasbash et al., 2004). Förutsättningarna för ekvationen är alltså att den gäller för osprinklade byggnader med verksamheter enligt tabell 4.3.

Om byggnaden är sprinklad medför detta att ekvation 4.1 överskattar brandskadeområdet. I Rasbash et al. (2004) framgår det att om byggnaden är försedd med sprinkler måste β -värdet minskas. För tillverkningsindustri minskar exempelvis β -värdet från 0,45 till 0,27 om det finns sprinkler i byggnaden. Dock påverkas inte C -värdet av om det finns sprinkler eller ej.

Tabell 4.3 - Konstanter för beräkning av brandskadeområde (Rasbash et al., 2004)

Verksamhet	C	β
Tillverkningsindustri	2,25	0,45
Lager	3,5	0,52
Handel	0,95	0,50
Kontor	15,0	0,00
Hotell etc.	5,4	0,22
Sjukhus	5,0	0,00
Skolor	2,8	0,37

En osäkerhet med användandet av ekvationen är att konstanterna är framtagna för brittiska byggnader. Användandet av ekvationen kan därför medföra osäkerheter i resultaten då den används tillsammans med svensk statistik. Skillnader i exempelvis byggregler och byggnadsbestånd mellan Storbritannien och Sverige kan leda till att ekvationen antingen över- eller underskattar brandskadeområdet. Om byggreglerna i Sverige är hårdare, speciellt med avseende på brandcellskrav och liknande, så kan ekvationen leda till en överskattning av brandskadeområdena. Om byggnaderna i Storbritannien är större än i Sverige så kan detta leda till att konstanterna och därmed ekvationen inte är anpassad för de mindre svenska byggnaderna. Då finns risken att brandskadeområdet över- eller underskattas.

För att kunna ta fram brandskadeområden för den svenska statistiken behövs golvareor för de utrymmen där bränderna uppstått. Vid framtagandet av dessa golvareor är det en viss terminologi som används. Dessa begrepp definieras här och punktlistan nedan visar i vilken kronologisk ordning begreppen behandlas. Begreppen visar hur statistiken omvandlas till brandskadeområden.

- Golvarea, den area som utgör det utrymme där branden uppstått och spridit sig till, exempelvis en försäljningslokals golvarea eller ett lagers golvarea. Dessa areor uppskattas av författarna och tas fram för att sedan kunna beräkna brandskadeområden.
- Areakategori, ett intervall av areor där respektive brand placeras utifrån dess golvarea.
- Brandskadeområde, den area som blivit förstörd av branden. Beräknas med ekvation 4.1 utifrån golvarea.

4.2.1 Golvareor för de utrymmen där bränderna uppstått

De golvareor som behövs för att beräkna brandskadeområdet är startutrymmenas golvareor samt ytan på de utrymmen dit branden spridit sig för respektive totala omfattningskategori. Detta innebär att golvareorna är olika stora beroende på brandens totala omfattning även om startutrymmet är det samma. Exempelvis har en brand som spridit sig till startbyggnaden en större golvarea jämfört med en brand med samma startutrymme men som inte spridit sig utanför startutrymmet.

Indelningen av brandens totala omfattning enligt tabell 4.1 används även om det kan utgöra en osäkerhet i framtagandet av metoden. En osäkerhet kan till exempel vara att en liten brand, på grund av exempelvis ogynnsam placering, kan sprida sig till en annan byggnad samtidigt som en kraftig brand kan vara begränsad till startbyggnaden då det inte finns några spridningsmöjligheter till andra byggnader. Trots osäkerheterna är detta ett tillvägagångssätt som har valts för att på ett konsekvent sätt kategorisera de

golvareor som berörts av branden. Ökande total omfattning enligt tabell 4.1 innebär således en ökad av branden berörd golvarea och därmed en ökad allvarlighet för branden.

För att uppskatta golvareorna förs ett genomgående resonemang. Resonemanget är till viss del präglad av subjektiva bedömningar eftersom det inte finns någon statistik över hur stora olika sorters utrymmen vanligtvis är. Eftersom MSB:s statistik till stor del bygger på startutrymmen för branden måste dessa utrymmen tilldelas golvareor för att överhuvudtaget kunna ta hänsyn till MSB:s statistik över inträffade bränder. På grund av att golvareor uppskattas tas nio areakategorier fram och detta eftersom att utrymmena inte kan uppskattas exakt utan med ett visst intervall. För att ta hänsyn till denna osäkerhet används areakategorierna. I respektive areakategori placeras brändernas golvareor för att sedan kunna omvandlas till brandskadeområden.

Resonemanget gäller inte bränder som varit begränsade till startföremålet, där ett annat tillvägagångssätt har använts eftersom det finns mer detaljerad information att tillgå för enskilda föremål.

Resonemanget bygger på de olika kategorierna för brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst. Utifrån denna omfattning och brandens slutliga totala omfattning görs en bedömning av den golvarea som rimligtvis på något sätt berörts av branden. I resonemanget tas även hänsyn till vilket utrymme branden startat i och eventuellt begränsats till. Ett exempel är en brand som startat i ett kök och har en omfattning vid räddningstjänstens ankomst som är i flera rum samt en total omfattning att branden spred sig till annan byggnad. Detta exempel indikerar att den golvarea som ska uppskattas är större än det berörda utrymmet, eftersom branden berört flera rum vid räddningstjänstens ankomst. Eftersom att branden berört flera rum vid räddningstjänstens ankomst, men den totala omfattningen blir att branden spred sig till annan byggnad kommer golvarean att uppskattas som lägre än om branden hade spridit sig till flera brandceller vid räddningstjänstens ankomst. Detta beror på att den totala omfattningen förmodligen har ett tidsperspektiv som är längre än 30 minuter och räddningstjänstens ankomst har ett kortare tidsperspektiv. Därför beaktas även omfattningen vid räddningstjänstens ankomst. Om omfattningen vid räddningstjänst ankomst är allvarlig uppskattas golvarean som större.

Dock påverkar den totala omfattningen för branden vilken golvarea den berört i slutändan. Ett exempel görs för att exemplifiera detta. Om omfattningen vid räddningstjänstens ankomst är begränsad till startföremålet och den totala omfattningen är att branden spred sig till annan byggnad uppskattas golvarean som stor och detta på grund av att branden har spridit sig relativt kraftigt efter räddningstjänstens ankomst. Om den totala omfattningen istället hade varit begränsad till startutrymmet hade den uppskattade golvarean varit lägre. Därefter placeras golvareorna i de olika areakategorierna.

Tillvägagångssättet är subjektivt och bygger till största del på uppskattningar av hur stora utrymmen vanligtvis är. Detta utgör en osäkerhet men totala arean av byggnaden har i största möjliga mån verifierats med bland annat mätverktyg i Google Earth samt analys av planritningar för tillämpbara byggnader. Detta har skett genom att titta på byggnader och mäta upp deras ungefärliga area i Google Earth, för att få en uppskattning på hur stor en byggnad kan vara. Ett fåtal planritningar har kunnat hittas

och analyserats för att även här få en uppskattning av relevant storlek på byggnadsutrymmen.

Hänsyn till de totala omfattningarna görs genom att generellt sett placera bränder med en stor total omfattning i den högre delen av areaintervall. Detta beroende på att de större totala omfattningskategorierna anses vara mer allvarliga och innehålla större bränder.

Resonemanget för när branden är begränsad till startföremålet ser annorlunda ut eftersom att det finns detaljerad information angående hur enskilda föremål brinner. Tillvägagångssättet för att ta fram den area som ett startföremål utgör när branden är begränsad till startföremålet bygger på att det är arean för själva föremålet. Detta görs eftersom branden inte sprids utanför startföremålet och den area som används blir således inte större än föremålet i sig. Areorna som tas fram är framförallt framtagna med hjälp av Särdaqvist (1993). I de fall då Särdaqvist (1993) ej kunnat tillämpas har uppskattningar för berört föremål. Areorna som tagits fram för startföremålen blir dess brandskadeområde. Areorna för startföremålen, dess brandskadeområden, behövs för att fördelningen av brandskadeområdena ska representera statistiken. Om brandskadeområdena för startföremålen inte hade använts hade fördelningen och 99,5-percentilen blivit väldigt hög då det inte hade funnits några ”små” bränder och fördelningen skjuvats åt höger.

4.2.2 Beräkning av brandskadeområde

När alla golvareor tagits fram och placerats i areakategorierna kan brandskadeområdet beräknas. Brandskadeområdet beräknas då med ekvation 4.1 och eftersom areakategorierna ges i form av intervall kommer även brandskadeområdena ges i intervall. Eftersom brandskadeområdena blir intervall kommer dessa intervall att fördelas likformigt kring varje intervalls medelvärde. Detta görs för att alla värden i respektive intervall ska vara lika troliga att uppstå. Den likformiga fördelningen tas fram med hjälp av riskanalysverktyget @RISK, ett insticksprogram till Excel.

Startföremålen behandlas ej på detta sätt eftersom att själva föremålets area kommer att utgöra dess brandskadeområde, alltså tillämpas inte ekvation 4.1 på dessa. Startföremålens brandskadeområden är små eftersom föremålen i sig är små vilket innebär att startföremålens brandskadeområden kommer hamna i de lägre brandskadeområdeskategorierna. Startföremålens brandskadeområden adderas därefter till den totala fördelningen utifrån vilken kategori de hamnar i, för att fördelningen ska representera statistiken.

4.2.3 Fördelningar av brandskadeområde

I detta delkapitel redovisas hur fördelningarna över brandskadeområden tas fram. Som nämnts i kapitel 4.1 antas det att den totala omfattningen för bränderna i alla byggnadskategorier är lognormalfördelad. Därför lognormalfördelas brandskadeområdena för att kunna ta fram percentiler och förväntade värden. Lognormalfördelningen definieras av vissa statistiska parametrar som tas fram. Fördelningarna har tagits fram med hjälp av @RISK och med hjälp av ekvationerna nedan.

Metoden syftar till att avgöra sannolikheten för övertändning i en Br2-byggnad och därmed avgöra om dimensionering för lokal brand får göras. Enligt Boverket (2011b) får dimensionering för lokal brand göras om sannolikheten för övertändning i Br2-

byggnader understiger 0,5 %. Därför tas 99,5-percentilen för brandskadeområdet fram för att senare tillämpas. Även 95-percentilen tas fram eftersom detta är en konfidensnivå som ofta anges och den kommer användas för jämförelse med annan litteratur.

De statistiska parametrar som tas fram för brandskadeområdet är väntevärde, standardavvikelse, lognormalfördelningsparametrar samt värden för de relevanta percentilerna.

Förväntat brandskadeområde

Väntevärdet för en variabel, i detta fall brandskadeområdet, beräknas genom att väga samman de värden variabeln kan anta med dess tillhörande sannolikhet (Körner & Wahlgren, 2010). Väntevärdet är synonymt med förväntat värde och beräknas enligt ekvation 4.2 (Körner & Wahlgren, 2010).

$$E(X) = \mu = \sum x \cdot p(x) \quad (\text{Ekvation 4.2})$$

x = brandskadeområde

p(x) = sannolikhet

μ = förväntat värde

Det förväntade värdet är det mest troliga brandskadeområdet utifrån den fördelning och de sannolikheter som gäller.

Brandskadeområdet som används är den likformiga fördelningen inom varje brandskadområdesintervall som beskrivits ovan. Sannolikheten för att ett visst brandskadeområde skall uppstå beräknas genom att antalet bränder i varje brandskadeområdeskategori divideras med totala antalet bränder. Sedan viktas det förväntade värdet fram enligt ekvation 4.2.

Standardavvikelse brandskadeområde

Standardavvikelsen är ett mått på spridningen kring medelvärdet. Då brandskadeområdet har delats in i kategorier med tillhörande frekvenser används ekvation 4.3 för att ta fram standardavvikelsen (Körner & Wahlgren, 2009).

$$s = \sqrt{\frac{\sum f \cdot x^2 - \frac{(\sum f \cdot x)^2}{n}}{n-1}} \quad (\text{Ekvation 4.3})$$

f = frekvens (antal)

x = brandskadeområde

n = totalt antal bränder

Fördelning av brandskadeområde

Fördelningen är som nämnts tidigare lik en lognormalfördelning och därför tas lognormalfördelningsparametrar fram. Vid en lognormalfördelning används lognormalparametrarna väntevärde och standardavvikelse och de beräknas med ekvation 4.4 och 4.5 (Rychlik & Rydén, 2006).

$$\sigma = \sqrt{\ln \left(1 + \frac{D(\xi)^2}{E(\xi)^2} \right)} \quad (\text{Ekvation 4.4})$$

$$\mu = e^{m + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (\text{Ekvation 4.5})$$

$D(\xi)$ = standardavvikelse (ekvation 4.3)

$E(\xi)$ = väntevärde (ekvation 4.2)

m = median, $m = \ln(E(\xi)) - \sigma^2/2$

Väntevärdet utifrån lognormalfördelningsparametrarna fås med hjälp av ekvation 4.6 (Rychlik & Rydén, 2006).

$$E(x) = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (\text{Ekvation 4.6})$$

μ = lognormalfördelat väntevärde (ekvation 4.5)

σ = lognormalfördelat standardavvikelse (ekvation 4.4)

Percentiler

Percentilerna beräknas enligt ekvation 4.7 (Matematisk statistik, LTH, 2010).

$$x_i = e^{(\mu + z \cdot \sigma)} \quad (\text{Ekvation 4.7})$$

i = percentilen som efterfrågas

μ = väntevärde (ekvation 4.5)

z = standardiserad normalfördelningsvariabel för efterfrågad percentil (Körner, 2010)

σ = standardavvikelse (ekvation 4.4)

I denna rapport är det 99,5-percentilen och 95-percentilen som kommer att användas. z-värdet för 99,5-percentilen är 2,5758 och z-värdet för 95-percentilen är 1,6449 (Körner, 2010).

4.3 Effektutveckling per kvadratmeter

Effektutveckling per kvadratmeter är beroende av vilken verksamhet, och därmed förekomsten av brännbart material, som avses. Att välja en representativ effektutveckling per kvadratmeter kan dock vara svårt eftersom denna kan bero på ett stort antal faktorer.

Några faktorer som påverkar effektutvecklingen per kvadratmeter är hur stor mängd brännbart material som finns i en byggnad eller ett utrymme och hur stor andel av utrymmet som utgörs av tomma ytor. Även vad det är för sorts material påverkar eftersom olika material kan ge olika effektutvecklingar vid en brand. Om materialet är utspritt, så det finns mycket tomma ytor blir den potentiella effektutvecklingen per kvadratmeter lägre jämfört med om det brännbara materialet är koncentrerat så att det inte finns så mycket tomma ytor. Byggnader med samma verksamhet kan alltså ha olika

potentiell effektutveckling per kvadratmeter beroende på hur det brännbara materialet i byggnaden är fördelat. Detta kan också variera med tiden vilket medför ytterligare svårighet att hitta en representativ effektutveckling per kvadratmeter. Konfigurationen av materialet kan alltså i betydande utsträckning inverka på effektutvecklingen per kvadratmeter i händelse av brand.

Hur materialet exponeras för en eventuell brand kan också ha inverkan på effektutvecklingen per kvadratmeter. Om materialet är exponerat för brand på alla sina ytor kan det bidra till effektutvecklingen i högre grad än om det har en mindre exponering.

Osäkerheterna kring vilken effektutveckling per kvadratmeter som ska användas är alltså mycket stora. Det anges vissa värden i litteratur men det betyder inte att dessa är representativa för samtliga byggnader med den verksamhet som avses. För att kunna ta fram fördelningar över totala effektutvecklingar i denna rapport kommer värden som återfinns i litteratur att användas. Effektutveckling per kvadratmeter bör tas fram i varje enskilt fall för att i allra möjligaste mån ta hänsyn till de osäkerheter som finns när det gäller effektutveckling per kvadratmeter.

För startföremålen finns det effektutvecklingar angivet i Särdaqvist (1993) som kan användas för startföremålen istället för att använda en samlad effektutveckling per kvadratmeter för olika verksamheter.

4.4 Fördelning över maximal effektutveckling

I detta delkapitel redovisas hur fördelningarna över maximal effektutveckling tas fram. Med hjälp av effektutvecklingarna per kvadratmeter samt fördelningarna av brandskadeområde kan fördelningar över totala effektutvecklingen beräknas. Detta görs genom att multiplicera brandskadeområdet med den relevanta effektutvecklingen per kvadratmeter. Dock hanteras startföremålen annorlunda och detta beror på att det finns uppgifter angående enskilda föremåls totala effektutveckling. Effektutvecklingarna för startföremålen behandlas enligt nedan.

4.4.1 Fördelningar av effektutvecklingar i startföremål

Effektutvecklingar för respektive startföremål kan tas fram med hjälp av Särdaqvist (1993). I Särdaqvist (1993) anges flera effektutvecklingar för de flesta föremål eftersom flera olika varianter av föremålet har testats. Eftersom det i MSB:s statistik inte finns någon information om exakt variant av föremål som brunnit används det lägsta, det högsta samt medelvärdet av dessa effektutvecklingar för varje föremål. Utifrån brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst placerades de olika bränderna i olika grupper. Bränder som enbart hade rökutveckling vid räddningstjänstens ankomst tilldelades den lägre effektutvecklingen för föremålet, de som var släckta/slocknade tilldelades en medeleffektutveckling och de som var i startföremålet tilldelades den högre effektutvecklingen. Utifrån de olika effektutvecklingarna kategoriserades bränderna i startföremålen i olika effektutvecklingskategorier. På detta sätt togs en fördelning över effektutvecklingar för startföremålen fram.

Effektutvecklingarna för startföremålen påverkas inte av effektutveckling per kvadratmeter utan är konstanta och placeras in i den övergripande kategori av effektutvecklingar som uppstår för de olika effektutvecklingarna per kvadratmeter. Tyvärr har detta förfarande inte kunnat användas på de större bränderna eftersom det

inte finns någon möjlighet att kvantifiera dem i samma utsträckning. Startföremålen behandlas separat just eftersom tillgången på information tillåter detta. Önskvärt hade varit att samtliga bränder kunnat behandlas på samma sätt men tyvärr finns inte tillräcklig information för att göra detta.

4.4.2 Fördelningar av effektutvecklingar

Fördelningarna för effektutvecklingarna lognormalfördelas. Därför behövs de statistiska parametrarna som definierar lognormalfördelningen tas fram. De statistiska parametrarna tas fram med samma ekvationer som används för brandskadeområdena fast det är effektutveckling per kvadratmeter och brandskadeområdena som används som ingående parametrar. Startföremålet plockas in separat som beskrivits ovan och placeras i de totala effektutvecklingar där de passar in. Det är även här @RISK som används för att simulera och åskådliggöra fördelningarna.

4.4.3 Resultat av fördelning över maximal effektutveckling

När fördelningarna och dess statistiska parametrar har beräknats kan effektutvecklingen i 99,5-percentilen tas fram. Denna effektutveckling är därefter tänkt att användas för att se om den effektutvecklingen leder till övertändning eller ej i aktuell byggnad.

4.4.4 Rimlighetskontroll av effektutvecklingarna

För att kunna göra en bedömning om huruvida de framtagna effektutvecklingarna är rimliga eller ej görs en rimlighetskontroll i form av ventilationskontroller. Ventilationskontrollerna görs för att få en uppfattning om vad som krävs för att de framtagna effektutvecklingarna ska kunna uppstå med avseende på ventilationsöppningar och byggnadsvolym. Det är för 99,5-percentilen rimlighetskontrollen görs eftersom det är den effektutveckling som är av intresse.

5 Tillämpning av tillvägagångssätt för att ta fram fördelning för maximal effektutveckling i Br2-byggnader

I följande kapitel tillämpas den metod som tagits fram för att hitta fördelningen för maximal effektutveckling i Br2-byggnader. Det som presenteras är ingångsdata, tillvägagångssätt, resultat, analys samt diskussion av resultaten.

Målet med examensarbetet är att utveckla en metod för att avgöra när dimensionering enligt lokal brand kan användas i Br2-byggnader, det vill säga hur det avgörs att sannolikheten för övertändning inte överstiger 0,5 %.

5.1 MSB:s statistik över inträffade bränder

Som nämnts tidigare är det MSB:s statistik över bränder i byggnader mellan 1998-2011 som används. De byggnadskategorier som är relevanta när det är Br2-byggnader som ska analyseras är följande.

- Allmän byggnad - Handel
- Allmän byggnad - Idrottsanläggning
- Industri - Lager

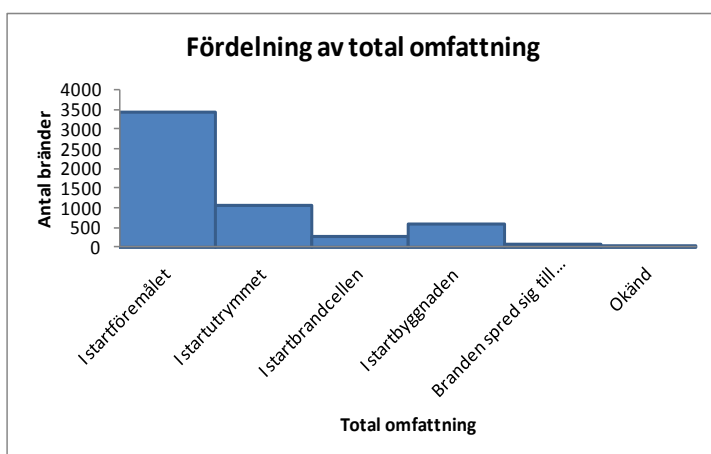
Kategorierna Allmän byggnad - Handel och Allmän byggnad - Idrottsanläggning har valts eftersom det är de kategorierna i MSB:s statistik som bedömts vara relevanta utifrån syftet med denna rapport. Kategorierna bedöms vara relevanta eftersom Br2-byggnader i ett plan och som innehåller en samlingslokal ofta har den verksamhet som kategorierna täcker in (Boverket, 2011a). Industri - Lager har också analyserats då kategorin skulle kunna innehålla byggnader som inte är klassade som Br3-byggnader utan som Br2-byggnader. Figur 6.1 presenterar antalet bränder som inträffat mellan 1998-2011 i de aktuella byggnadskategorierna utifrån brändernas totala omfattning.

Brandens omfattning	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Antal
Industri - Lager															
Branden spred sig till andra byggnader	4	2	2	1	2	0	2	3	5	4	2	2	2	3	34
I startbrandcellen	0	1	3	2	3	1	1	4	5	7	8	2	2	7	46
I startbyggnaden	6	13	24	9	14	17	8	12	15	11	17	14	12	13	185
I startföremålet	28	47	51	38	37	57	46	36	39	45	40	43	40	36	583
I startutrymmet	10	16	21	23	16	13	16	19	21	20	8	13	6	9	211
Okänd	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Summa	49	79	101	73	72	88	73	74	85	87	75	74	62	68	1060
Allmän byggnad - Handel															
Branden spred sig till andra byggnader	3	1	0	0	0	5	2	3	2	3	1	0	0	1	21
I startbrandcellen	10	12	7	7	5	7	6	14	16	16	14	15	13	12	154
I startbyggnaden	21	14	11	18	17	14	16	23	25	17	20	22	17	15	250
I startföremålet	160	157	167	182	166	190	133	130	151	151	165	140	157	163	2212
I startutrymmet	30	41	50	39	39	31	40	50	49	59	43	48	59	44	622
Okänd	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8
Summa	230	226	235	246	227	247	197	220	243	246	243	226	246	235	3267
Allmän byggnad - Idrottsanläggning															
Branden spred sig till andra byggnader	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	5	1	1	2	13
I startbrandcellen	2	2	3	5	2	5	3	2	6	9	4	4	4	5	56
I startbyggnaden	13	7	6	10	9	8	8	14	16	16	11	13	10	13	154
I startföremålet	46	58	42	46	34	27	47	36	44	41	47	40	65	47	620
I startutrymmet	12	19	8	9	13	15	11	16	19	25	19	14	16	15	211
Okänd	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
Summa	76	87	59	70	59	55	69	69	86	91	86	72	97	82	1058

Figur 5.1 - Total omfattning för de tre byggnadskategorierna samt antal bränder per år

Figur 5.2 visar fördelningen av bränderna i statistiken indelat efter total omfattning. Det framgår tydligt av figuren att det är en majoritet bränder som begränsats till

startföremålet, med andra ord en relativt liten skada. Det är färre bränder i de större totala omfattningskategorierna, (höger), det vill säga större skador. Figuren tyder på att fördelningen för antalet bränder verkar vara lognormalfördelad. Fördelningen stämmer väl överens med vad Holborn et al. (2004) också har kommit fram till.



Figur 5.2 - Fördelning av antal bränder i respektive totala omfattning

5.1.1 Kategorisering av statistiken

I statistiken finns bränder som kategoriseras som *okända* vad det gäller total omfattning och startutrymme. På grund av att bränderna kategoriserats som *okända* är det svårt att avgöra i vilket utrymme branden startat, vilken utveckling branden haft samt i slutändan hur stor area branden har påverkat. Eftersom att det är just dessa uppgifter som behövs för att ta fram brandskadeområde och sedermera effektutvecklingar kan dessa bränder inte analyseras i denna rapport.

Startföremålen innehåller startföremål som är svåra att kategorisera och dessa är ”*annat*”, ”*byggnadens utsida*” och ”*okänt*” och dessa finns i alla tre byggnadskategorierna. Att startföremålet ”*byggnadens utsida*” inte analyseras vidare beror på att det är svårt att avgöra vad det är som brinner och hur stor yta ”*byggnadens utsida*” innebär. När det gäller ”*annat*” och ”*okänt*” går det inte heller här att avgöra vad det är som brinner samt hur stor yta som påverkas av branden. Om det inte går att avgöra vad startföremålet är, som i fallen med ”*annat*” och ”*okänt*” är det omöjligt att säga något om ytan samt effektutvecklingen för föremålet. Därför utesluts dessa tre startföremål från den vidare analysen när det gäller den totala omfattningskategorin. Om branden sprider sig utanför startföremålet är inte startföremålet av lika stor relevans då det är startutrymme som påverkar hur golvarean kommer att kategoriseras och därför exkluderas inte de ovan nämnda startföremålen i de övriga omfattningskategorierna.

När det gäller brandens startutrymme är det ett antal startutrymmen som inte anses vara relevanta eller svåra att kategorisera vidare i denna rapport. De berörda utrymmena presenteras utifrån de olika byggnadskategorierna nedan:

- Lager - *annat, fristående förråd/uthus, fristående garage, källare (ej boyta), okänt, silo, utanför byggnaden, utomhus och vind*
- Handel - *annat, balkong/altan, fristående förråd/uthus, fristående garage, källare (ej boyta), okänt, silo, utanför byggnaden, utomhus och vind*
- Idrottsanläggning - *annat, fristående förråd/uthus, källare (ej boyta), okänt, produktionslokal, utanför byggnaden, utomhus och vind*

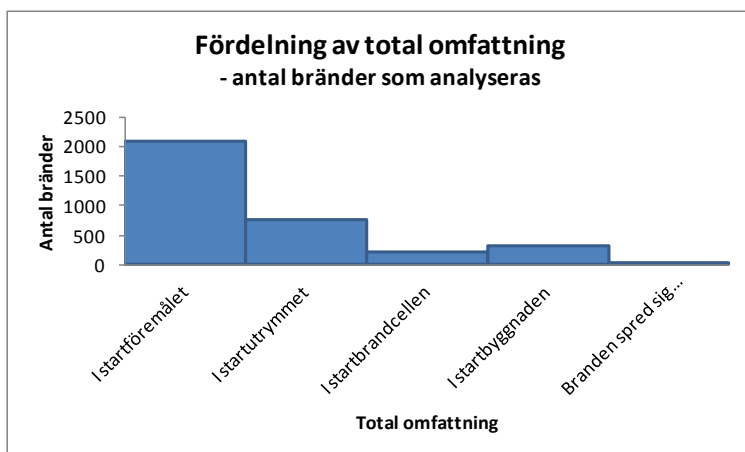
Dessa utrymmen utesluts även de från analysen. "Annat" och "okänt" utesluts eftersom att det helt enkelt inte går att säga något om dessa utifrån den metod som används i rapporten. Övriga utrymmen i punktlistan ovan utesluts eftersom de inte är relevanta för Br2-byggnader i ett plan. För att se utgångsdata innan ovan nämnda kategorier uteslutits, se bilaga A. Tabell 5.1 visar andelen bränder som analyseras i arbetet för respektive byggnadskategori samt brandens totala omfattningskategori. Tabellen visar att det är en stor andel av bränderna som inte analyseras i vissa av de totala omfattningskategorierna. I omfattningskategorin *branden spred sig till annan byggnad* är det under 50 % av bränderna som används för varje byggnadskategori och detta har att göra med att många av bränderna har uppstått i ett startutrymme som är annat, okänt eller utanför byggnaden och det går inte att sätta en area på dessa utrymmen utifrån den information som ges i MSB:s statistik. Därför blir andelen bränder som analyseras i den kategorin låg. Det är på samma sätt för de övriga omfattningskategorierna.

De bränder som inte analyseras vidare, speciellt i omfattningskategorin som rör startföremål kan antas fördelas på samma sätt som övriga startföremål, med andra ord att dess area är liten. De övriga omfattningskategorierna fördelas troligen på samma sätt som för bränderna som analyseras, men bränderna kan även vara mindre eller större beroende på vad till exempel "annat" innebär. Om bränderna fördelas på samma sätt kommer fördelningen som genereras i slutet att ha samma utseende, den kommer bara byggas på höjden. Det val som gjorts är att utesluta de bränder som nämnts ovan ur rapporten och de läggs inte in i fördelningarna även om det kanske är troligt att de fördelas på samma sätt som övriga bränder. Fördelen med att använda sig av alla bränder är att det inte faller bort några bränder. Nackdelen med att ta med de uteslutna bränderna är att det blir en lägre noggrannhet eftersom att det utifrån det sätt som metoden tagits fram blir svårt att kategorisera dessa bränder. Det är även så som visats ovan att det finns utrymmen som inte är relevanta för Br2-byggnader. Om dessa tas med i analysen kan de minska resultatets relevans. Därför anses nackdelarna med att ha med dem vara större än fördelen.

Tabell 5.1 – Andel bränder i respektive byggnadskategori för respektive totala omfattningskategori som används i arbetet

	Allmän byggnad - Handel [%]	Allmän byggnad - Idrottsanläggning [%]	Industri - Lager [%]
Branden spred sig till annan byggnad	41	19	43
I startbyggnaden	58	25	55
I startbrandcellen	84	60	73
I startutrymme	77	53	64
I startföremål	62	58	47

Figur 5.3 redovisar fördelningen över de antal bränder som kommer att analyseras. Brändernas fördelning är nästintill identisk med fördelningen i figur 5.2 där alla bränder är inkluderade. Det som kan antas utifrån detta är att bränderna som uteslutits fördelar sig på samma sätt som de som analyseras vidare.



Figur 5.3 – Fördelning över antal bränder med de bränder som kommer att analyseras

5.2 Fördelning av brandskadeområde

Som nämnts i kapitel 4 beräknas brandskadeområden då det inte finns några numeriska värden på hur stor yta branden har förstört. Det är ekvation 4.1 som används och C och β finns redovisade i tabell 5.2. För *Allmän byggnad - Handel* används verksamhet "handel" och för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning* appliceras verksamhet "skola". Detta på grund av att en idrottsanläggning liknar en skolverksamhet sett till den verksamhet som bedrivs och det brännbara material som finns. För *Industri - Lager* används verksamhet "lager". Parametrarna redovisas i tabell 5.2 för de verksamheter som kommer att användas.

Tabell 5.2 – Parametrar till ekvation 4.1

Verksamhet	C	β
Lager	3,5	0,52
Handel	0,95	0,50
Skola	2,8	0,37

Ekvationen används inte rakt av för godtyckliga areor utan tillsammans med de areakategorier som tas fram. Förfarandet används för att på så sätt ta hänsyn till statistiken för bränder i byggnader i Sverige och för att kunna ta fram en fördelning av brandskadeområden.

De golvareor som behövs för att beräkna brandskadeområdet är brandens startutrymme samt utrymmet dit branden spridit sig. Som nämnts tidigare placeras de golvareor som uppskattats i nio areakategorier. Areakategorierna är följande:

- 0-25 m²
- 25-50 m²
- 50-75 m²
- 75-100 m²
- 100-500 m²
- 500-1000 m²
- 1000-5000 m²
- 5000-10000 m²
- 10000-150000 m²

Intervallens storlek är mindre i de lägre kategorierna eftersom det finns utrymmen i statistiken som är små till ytan. Det finns utrymmen i statistiken vars golvarea kan variera i stor utsträckning och därför har de högre kategorierna en grövre indelning.

I bilaga B finns de data som används i analysen samt omfattningar vid räddningstjänstens ankomst som utgör grunden för kategoriseringen. Kategoriseringen redovisas även den i bilaga B. Kategoriseringen görs för de olika totala omfattningskategorierna:

- Branden spred sig till annan byggnad
- I startbyggnaden
- I startbrandcellen
- I startutrymmet
- I startföremålet

Kategoriseringen beskrivs i inbördes ordning med respektive byggnadskategori som analyseras. Eftersom att statistiken är indelad i de ovan nämnda omfattningskategorierna anges hur många bränder som inträffat i respektive omfattningskategori. Som nämnts tidigare anses de olika omfattningskategorierna vara olika allvarliga, i punktlistan ovan är det mest allvarlig till minst allvarlig som anges. Detta är den information som ges i statistiken som kan användas för att avgöra golvarean.

5.2.1 Branden spred sig till annan byggnad

Den totala omfattning det rör sig om i detta delkapitel är att branden spred sig till annan byggnad. Den golvarea som uppskattas är det utrymme som branden startat i och spridit sig till. Golvareorna togs fram i form av ett uppskattat intervall med lägsta och högsta troliga golvarea för utrymmet i fråga, "area_min" och "area_max". Nedan följer kategoriseringen av golvareor för utrymmen som berörts av bränder i de olika byggnadskategorier samt antal bränder i respektive areakategori. Kategoriseringen redovisas enbart för brandspridning till annan byggnad, då denna totala omfattning innehåller ett överskådligt antal bränder, och redovisas därför här och ej i bilaga B.

Allmän byggnad – Handel

I figur 5.4 redovisas de uppskattade golvareorna för de berörda utrymmena, samt de startutrymmen som inte analyseras. "area_min" och "area_max" utgör ett troligt areaintervall för det utrymme där branden startat och storleken på spridningen av branden. Denna golvarea har uppskattats utifrån hur stort ett utrymme kan vara och tilldelats en minsta samt en största golvarea. Uppskattningen av golvareornas utrymmen har antagits vara större i de fall då den totala omfattningskategorin är stor, som i detta fall då det är att branden spridit sig till annan byggnad, eftersom branden då är mer allvarlig och har påverkat ett större område. Det är på detta sätt golvareorna har uppskattats. Ett exempel hämtat ur figur 5.4 är att golvarean i ett kök uppskattningsvis kan variera ifrån 10-500 m², där det högre värdet fås genom att branden spred sig till annan byggnad och därmed har spridit sig utanför köket.

Antalet bränder i respektive utrymme redovisas samt i vilken kategori golvareorna delats in i, se färgen på utrymmena. Färgen på de olika utrymmena återkommer i figur 5.5 för att symbolisera vilken kategori bränderna hamnat i.

Vid kategoriseringen har även brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst använts. Denna omfattning har använts för att avgöra brandens omfattning vid ankomst och för att avgöra i vilken areakategori branden hamnar. Om omfattningen vid ankomst är liten placeras branden i en lägre areakategori än om omfattningen varit stor vid ankomst. En brand som vid räddningstjänstens ankomst är begränsad till startföremålet placeras i en lägre kategori jämfört med om branden vid räddningstjänstens ankomst hade en större omfattning, exempelvis flera rum eller flera brandceller. Den övergripande kategoriseringen sker utifrån brandens totala omfattning men indelning av bränder i areakategorierna sker med vägledning av brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst.

Färgkodning används för att åskådliggöra i vilken areakategori respektive brand hamnar i.

Startutrymme	Area_min	Area_max	Omfattning vid ankomst	Antal	Tot/utrymme
Annat					3
Fristående förråd/uthus					4
Förråd	2	500	I startföremålet	1	1
Kök	30	1000	I flera rum	1	3
	10	500	I startföremålet	2	25-50,100-500
Lager	40	3000	I flera brandceller	1	2
	20	2000	I startutrymmet	1	
Lastbrygga	40	1000	I flera rum	1	1
Okänt					2
Produktionslokal	10	500	I startföremålet	1	1
Skorsten	1	500	I startutrymmet	1	1
Soprum/sopnedkast	10	500	Endast rökutveckling	1	1
Sovrum/sovsal	40	500	I flera rum	1	1
Utanför byggnaden					3
Utomhus					2
Vind					2
				11	27

Figur 5.4 - Uppskattning av golvareor Allmän byggnad - Handel

I figur 5.5 redovisas fördelningen av uppskattad golvarea i de olika kategorierna.

0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
0	1	0	0	7	2	1	0	0	11

Figur 5.5 - Antal uppskattade golvareor i respektive kategori Allmän byggnad - Handel

Allmän byggnad – Idrottsanläggning

I figur 5.6 redovisas de uppskattade golvareorna för de berörda utrymmena, antalet bränder samt i vilken kategori golvareorna delats in i. Uppskattning av golvareor samt kategorisering sker på samma sätt som för Allmän byggnad - Handel.

Startutrymme	Area_min	Area_max	Omfattning vid ankomst	Antal	Tot/utrymme
Annat					2
Fristående förråd/uthus					5
Fristående garage					1
Försäljningslokal	10	1000	I startföremålet	1	1
Okänt					1
Samlingslokal	200	3000	I startutrymmet	2	2 100-500, 1000-5000
Utanför byggnaden					3
Utomhus					1
				3	16

Figur 5.6 - Uppskattning av golvareor Allmän byggnad - Idrottsanläggning

I figur 5.7 redovisas fördelningen av uppskattad golvarea i de olika kategorierna.

0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
0	0	0	0	1	1	1	0	0	3

Figur 5.7 - Antalet uppskattade golvareor i respektive kategori *Allmän byggnad - Idrottsanläggning*

Industri – Lager

I figur 5.8 redovisas de uppskattade golvareorna för de berörda utrymmena, antalet bränder samt i vilken kategori golvareorna delats in i. Även här sker uppskattningen av golvareor och kategorisering på samma sätt som för *Allmän byggnad - Handel*.

Startutrymme	Area_min	Area_max	Omfattning vid ankomst	Antal	Tot/utrymme
Annat					2
Fristående förråd/uthus					7
Förråd	2	500	I startföremålet	1	1
Förråd/klädkammare	2	500	I startföremålet	1	1
Höupplag/loge/lada	20	800	I flera rum	1	2
	2	500	I startföremålet	1	
Lager	100	150000	I flera brandceller	1	11
	100	100000	I flera rum	4	2 i varje
	2	500	I startföremålet	1	
	100	100000	I startutrymmet	5	
Okänt					4
Utanför byggnaden					5
Utomhus					2
				15	35

Figur 5.8 - Uppskattning av golvareor *Industri - Lager*

I figur 5.9 redovisas fördelningen av uppskattad golvarea i de olika kategorierna.

0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
0	0	0	1	3	3	5	2	1	15

Figur 5.9 - Antalet uppskattade golvareor i respektive kategori *Industri - Lager*

5.2.2 I startbyggnaden

Den totala omfattning det rör sig om i detta delkapitel är att branden är begränsad till startbyggnaden. Det tillvägagångssätt som användes när branden spridit sig till annan byggnad appliceras även här. Det som är skillnaden är att de uppskattade golvareorna är något lägre då den totala omfattningen, och därmed allvarligheten, anses vara mindre. Kategoriseringen sker på samma sätt med hjälp av brandens omfattning vid räddningstjänsts ankomst. Golvareorna togs fram i form av ett uppskattat intervall med lägsta och högsta troliga golvarea för utrymmet i fråga. Då antalet bränder som är begränsade till startbyggnaden är många redovisas storleken på golvareorna för respektive utrymme samt kategoriseringen av golvareorna i bilaga B.1. Fördelningen av antalet golvareor i respektive areakategori redovisas nedan i figur 5.10.

Allmän byggnad - Handel									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
9	32	6	30	53	17	16	0	0	163
Allmän byggnad - Idrottsanläggning									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
1	6	4	9	11	5	4	2	0	42
Industri - Lager									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
12	6	4	18	21	18	24	4	1	108

Figur 5.10 - Antalet uppskattade golvareor i respektive areakategori för alla byggnadskategorier

5.2.3 I startbrandcellen

Den totala omfattningen det rör sig om i detta kapitel är att branden är begränsad till startbrandcellen. Tillvägagångssättet som användes när branden spridit sig till annan byggnad appliceras även här. Det som är skillnaden är att golvarean som uppskattas får något lägre värden då omfattningen, och därmed allvarligheten, anses vara mindre. Omfattningen vid räddningstjänstens ankomst används för att placera bränderna i de olika areakategorierna på samma sätt som ovan. Golvareorna togs fram i form av ett uppskattat intervall med lägsta och högsta troliga golvareor för utrymmet i fråga. Det är enbart fördelningen av antalet golvareor i respektive kategori som redovisas och detta på grund av att antalet bränder som är begränsade till startbrandcellen är mycket stort. För att se storleken på uppskattad area samt kategoriseringen av golvareorna hänvisas till bilaga B.2. Figur 5.11 redovisar fördelningen av antalet bränder i respektive areakategori, med alla byggnadskategorier.

Allmän byggnad - Handel									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
16	25	16	29	30	13	13	0	0	142
Allmän byggnad - Idrottsanläggning									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
11	9	1	3	2	3	4	0	0	33
Industri - Lager									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
4	7	1	2	10	3	4	4	0	35

Figur 5.11- Antalet uppskattade golvareor i respektive kategori för alla byggnadskategorier

5.2.4 I startutrymmet

I detta delkapitel är branden begränsad till startutrymmet. Tillvägagångssättet som användes när branden spridit sig till annan byggnad kan appliceras även här. Det som är skillnaden är att golvarean som uppskattas får lägre värde då omfattningen, och därmed allvarligheten, anses vara mindre eftersom att branden är begränsad till startutrymmet. Omfattningen vid räddningstjänstens ankomst används för att placera bränderna i de olika areakategorierna på samma sätt som ovan. Golvareorna togs fram i form av ett uppskattat intervall med lägsta och högsta troliga golvareor för utrymmet i fråga. Antalet bränder som är begränsade till startutrymmet är omfattande och därför redovisas storleken på golvareorna för respektive utrymme samt kategoriseringen av golvareorna i bilaga B.3. Fördelningen av antalet golvareor i respektive kategori redovisas i figur 5.12 nedan.

Allmän byggnad - Handel									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
175	142	47	49	42	24	19	0	0	498
Allmän byggnad - Idrottsanläggning									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
78	20	4	2	7	6	2	0	0	119
Industri - Lager									
0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000	summa
60	21	8	7	23	13	9	3	0	144

Figur 5.12 - Antalet uppskattade golvareor i respektive areakategori för alla byggnadskategorierna

5.2.5 I startföremålet

Den totala omfattningen i detta delkapitel är att branden är begränsad till startföremålet. Som nämnts tidigare används här inte resonemanget som använts för de andra totala omfattningarna. Tillvägagångssättet för att ta fram areorna när branden är begränsad till startföremålet bygger på att det är arean för själva startföremålet som tas fram och den area som tas fram är även startföremålets brandskadeområde. Detta görs eftersom branden inte sprids utanför startföremålet och brandskadeområdet blir således inte större än föremålet i sig. Areorna som tas fram är framförallt framtagna med hjälp av Särddqvist (1993) där areor för olika föremål anges. För värden på areor hänvisas till bilaga B.4 för startföremål i respektive byggnadskategori. De areor som tas fram för startföremålen ligger samtliga, förutom 8 stycken bränder i övriga vägfordon för *Allmän byggnad - Handel*, i de lägsta brandskadeområdena.

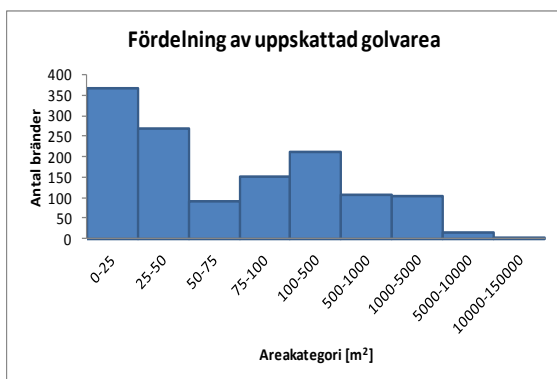
5.2.6 Antal areor i respektive areakategori

De olika antalen areor inom respektive areakategori summeras för respektive byggnadskategori. Detta innebär att antalet areor för samtliga totala omfattningar summeras. Detta görs för att visa hur stort antal golvareor det finns inom respektive areakategori. I tabell 5.3 redovisas antalet golvareor som kan härröras till varje kategori. Startföremålen finns inte med i denna tabell då deras brandskadeområden är kända och inte uppskattade areor. Som tabellen visar är det flest antal bränder som berör små golvareor vilket innebär att de flesta bränderna har en omfattning som inte blir större än startföremålet eller startutrymmet. Om startföremålen hade redovisats i denna tabell hade vikten mot att bränderna berör små utrymmen varit ännu större. Dock presenteras de inte här på grund av att det inte är brandskadeområdet utan golvareor som presenteras.

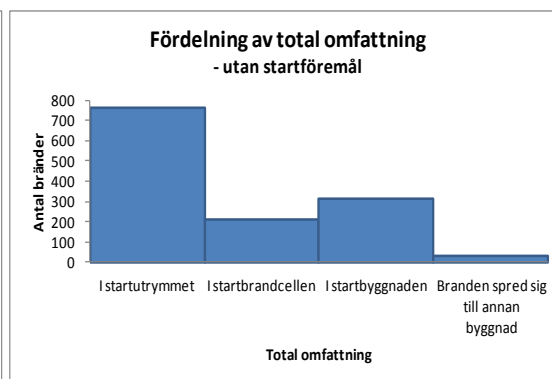
Tabell 5.3 - Kategorisering av antal bränder och berörda golvareor för respektive byggnadskategori

Area [m ²]	Antal, Lager	Antal, Handel	Antal, Idrottsanläggning	Antal, totalt
0-25	76	200	90	366
25-50	34	200	35	269
50-75	13	69	9	91
75-100	28	108	14	150
100-500	57	132	21	210
500-1000	37	56	15	108
1000-5000	42	49	11	102
5000-10000	13	0	2	15
10000-150000	2	0	0	2

Figur 5.13 visar fördelningen av totala antalet uppskattade golvareor som även finns i tabell 5.3 ovan. Figuren nedan visar att en relativt stor del av de inträffade bränderna berör små utrymmen. Fördelningens principiella utseende påminner om fördelningen för brandens totala omfattning i figur 5.14 där startföremålen är bortplockade.



Figur 5.13 - Fördelning av totala antalet uppskattade golvareor i respektive kategori (utan startföremål)



Figur 5.14 - Fördelning av totala antalet bränder för respektive total omfattning (utan startföremål)

5.2.7 Beräkning av brandskadeområde

När alla golvareor tagits fram och placerats i areakategorierna kan brandskadeområdet beräknas. Brandskadeområdet beräknas då med ekvation 4.1 och eftersom areakategorierna ges i form av intervall kommer även brandskadeområdena ges i intervall. Eftersom brandskadeområdena blir intervall kommer dessa intervall att fördelas likformigt kring varje intervalls medelvärde. Detta görs för att alla värden i respektive intervall ska vara lika troliga att uppstå. Den likformiga fördelningen tas fram med hjälp av riskanalysverktyget @RISK, ett insticksprogram till Excel.

Startföremålen behandlas ej på detta sätt eftersom att själva föremålets area kommer att utgöra dess brandskadeområde, alltså tillämpas inte ekvation 4.1 på dessa. Startföremålens brandskadeområden är små eftersom att föremålen i sig är små vilket innebär att startföremålens brandskadeområden kommer hamna i de lägre brandskadeområdeskategorierna. Startföremålens brandskadeområden adderas därefter till den totala fördelningen utifrån vilken kategori de hamnar i.

Tabell 5.4 redovisar de olika brandskadeområdesintervallen för respektive byggnadskategori. Tabellen visar enbart vilka intervall som används, inte hur många bränder som inträffat i respektive intervall. I intervallen placeras sedan de bränder som funnits i respektive areakategori och startföremålen placeras i de brandskadeområdesintervall som passar in med deras area.

Tabell 5.4 - Brandskadeområden för respektive byggnadskategori

Area [m ²]	Brandskadeområde [m ²]		
	Handel	Lager	Idrottsanläggning
			<i>Skola</i>
0-25	0-5	0-20	0-10
25-50	5-7	20-30	10-12
50-75	7-8	30-35	12-14
75-100	8-10	35-40	14-16
100-500	10-21	40-90	16-30
500-1000	21-30	90-130	30-36
1000-5000	30-70	130-300	36-65
5000-10000	70-95	300-420	65-85
10000-150000	95-370	420-1720	85-230

5.2.8 Fördelningar av brandskadeområde

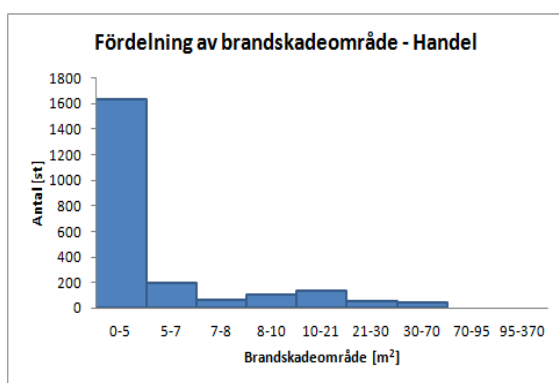
I detta delkapitel redovisas hur fördelningarna över brandskadeområden tas fram. Som nämnts tidigare görs antagandet att fördelningarna är lognormalfördelade och därför tas statistiska parametrar som definierar en lognormalfördelning fram. De parametrar som tas fram är förväntat värde, standardavvikelse och percentiler. Ekvationerna som används är ekvationerna 5.2–5.7. Fördelningarna tas fram med hjälp av @RISK. Beräkningsgången för framtagandet av de olika parametrarna finns i bilaga C.

5.2.9 Resultat – brandskadeområde

Fördelningar över brandskadeområdet för respektive byggnadskategori redovisas nedan. Även lognormalfördelningsparametrar och lognormalfördelning anpassad till statistiken redovisas.

Allmän byggnad – Handel

Fördelningen av brandskadeområde redovisas i figur 5.15. I figur 5.15 kan det utläsas att det är flest bränder som har ett brandskadeområde som är mellan 0-5 m². Därefter avtar antalet bränder i de större brandskadeområdena och det är minst antal bränder i de största brandskadeområdeskategorierna.



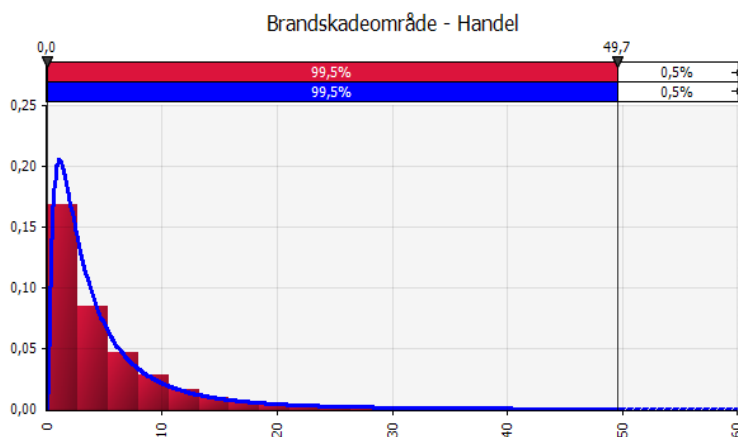
Figur 5.15 - Fördelning av brandskadeområdet för Allmän byggnad – Handel

I tabell 5.5 redovisas antal bränder, lognormalfördelningsparametrarna μ och σ , samt numeriska värden för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilerna för brandskadeområdet.

Tabell 5.5 - Lognormalfördelningsparametrar för brandskadeområdet för *Allmän byggnad – Handel*

Brandskadeområde	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [m ²]	x ₉₅ [m ²]	x _{99,5} [m ²]
Handel	2247	1,17	1,06	5,7	18,4	49,4

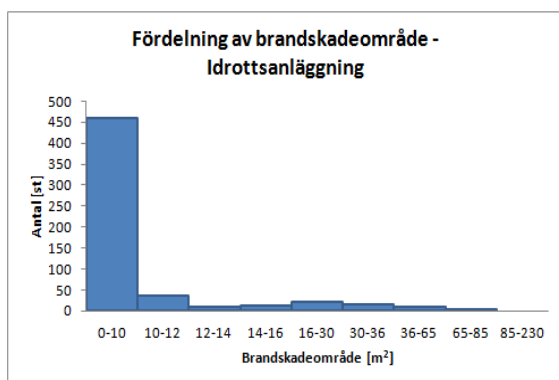
Figur 5.16 visar det beräknade lognormalfördelade brandskadeområdet med en trendlinje anpassad till fördelningen. Fördelningen fås utifrån parametrarna i tabell 5.5 ovan. Toppen i figur 5.16 motsvarar det lognormalfördelade förväntade värdet som är 1,17. Det förväntade numeriska värdet fås genom att använda ekvation 4.6.



Figur 5.16 - Lognormalfördelat brandskadeområde för *Allmän byggnad – Handel*

Allmän byggnad – Idrottsanläggning

Figur 5.17 redovisar fördelningen av antal bränder med brandskadeområde beräknat för en skola. Som figuren visar är det flest antal bränder i brandskadeområdet 0-10 m² medan antalet bränder är betydligt färre i de större brandskadeområdena.



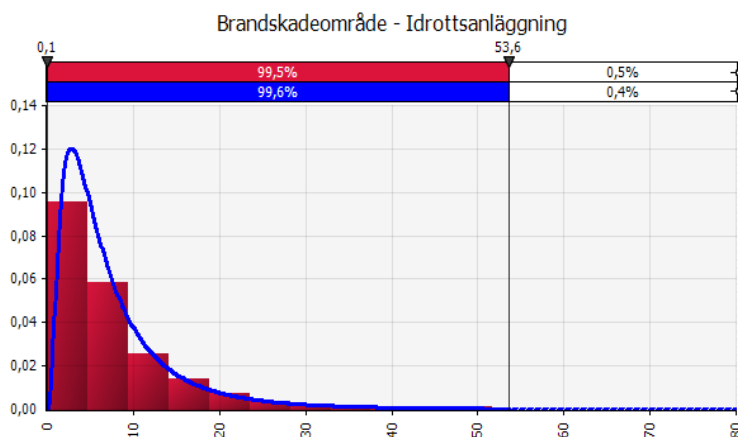
Figur 5.17- Fördelning av brandskadeområde för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning*

I tabell 5.6 redovisas antal bränder, lognormalfördelningsparametrarna μ och σ , samt numeriska värden för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilerna.

Tabell 5.6 - Lognormalfördelningsparametrar för brandskadeområdet för *Allmän byggnad – Idrottsanläggning*

Brandskadeområde	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [m ²]	x ₉₅ [m ²]	x _{99,5} [m ²]
Idrottsanläggning (skola)	566	1,73	0,84	8	22,3	48,7

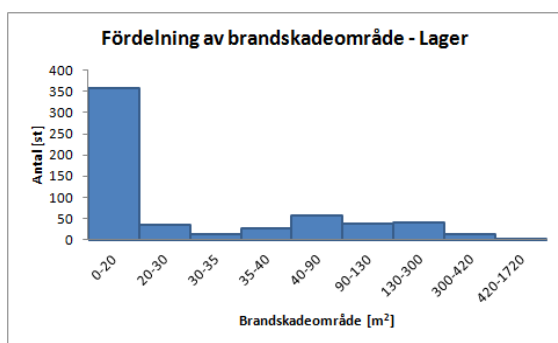
Figur 5.18 redovisar det beräknade lognormalfördelade brandskadeområdet för idrottsanläggning då det beräknats för skolverksamhet. Det är även inlagt en trendlinje som är anpassad till fördelningen. Det förväntade värdet fås genom att använda ekvation 4.6.



Figur 5.18- Lognormalfördelade brandskadeområdet för Allmän byggnad - Idrottsanläggning

Industri – Lager

I figur 5.19 redovisas fördelningen av brandskadeområdet. Figur 5.19 visar att flest antal bränder ger ett brandskadeområde på 0-20 m². Stora brandskadeområden är som synes mer sällsynta än de mindre.



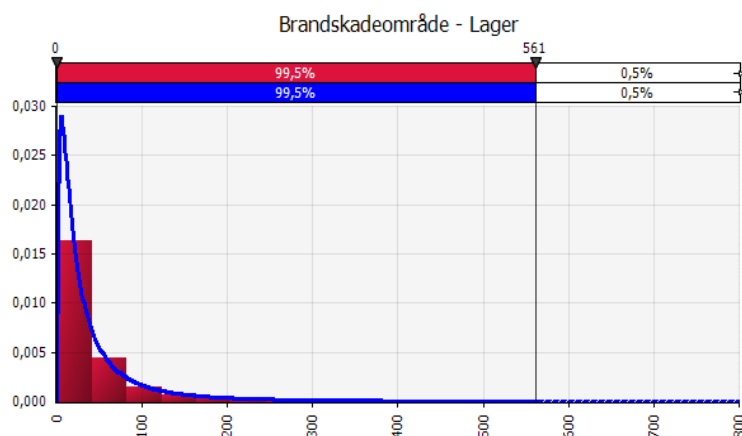
Figur 5.19 - Fördelning av brandskadeområdet för Industri – Lager

Tabell 5.7 redovisar antalet bränder, lognormalfördelningsparametrar, μ och σ , samt värden för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilen.

Tabell 5.7 - Lognormalfördelningsparametrar för brandskadeområdet för Industri – Lager

Brandskadeområde	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [m ²]	x ₉₅ [m ²]	x _{99,5} [m ²]
Lager	583	3,17	1,23	50,6	179,5	561,9

Figur 5.20 visar det beräknade lognormalfördelade brandskadeområdet med en trendlinje anpassad till fördelningen. Fördelningen fås utifrån parametrarna i tabell 5.7 ovan. Det förväntade numeriska värdet fås genom att använda ekvation 4.6.



Figur 5.20 - Lognormalfördelade brandskadeområdet för *Industri - Lager*

5.2.10 Rimlighetskontroll av brandskadeområde

För att få en uppfattning om de framtagna brandskadeområdena är rimliga görs en jämförelse med tillgänglig litteratur på området. Amerikansk statistik visar att den största kategorin av bränder i handelsverksamhet är bränder som är begränsade till startföremålet, 47 % (Bennetts et al., 1998). Samma statistik visar också att 80 % av bränderna inte spred sig utanför startutrymmet (Bennetts et al., 1998). För bränder i *Allmän byggnad - Handel* visar statistiken från MSB att motsvarande siffror i Sverige var 64 respektive 86 % för åren mellan 1998-2011. Holborn et al. (2002) redovisar att 88 % av bränderna i handel och kommersiella byggnader i London inte sprids utanför startutrymmet. Den brittiska och amerikanska statistiken indikerar alltså på, precis som den svenska, att mindre brandskadeområden där spridningen varit begränsad är vanligt förekommande.

Holborn et al. (2004) har gjort en undersökning av bränder och vilket brandskadeområde de har gett upphov till. Generellt är de brandskadeområden som redovisas i Holborn et al. (2004) större än de som tagits fram i denna rapport, se tabell 5.8.

Tabell 5.8 – Jämförelse av brandskadeområden med Holborn et al. (2004).

Resultat från Holborn et al. (2004)	Estimated log-normal distribution parameters					
	N	μ	σ	E(x) [m ²]	X ₉₅ [m ²]	X _{99,5} [m ²]
Schools	34	0,69	1,89	12	45	260
Retail	94	1,17	1,84	18	66	369
Warehouse	20	2,87	2,13	170	586	4258
Rapportens resultat						
Allmän byggnad – Handel	2247	1,17	1,06	6	18	49
Allmän byggnad – Idrottsanläggning	566	1,73	0,84	8	22	49
Industri – Lager	583	3,17	1,23	51	180	562

5.3 Effektutveckling per kvadratmeter

Effektutveckling per kvadratmeter är beroende av vilken verksamhet som avses och de verksamheter som avses i denna rapport är *Allmän byggnad - Handel, Allmän byggnad - Idrottsanläggning* och *Industri - Lager*. Att välja en representativ effektutveckling per kvadratmeter är dock svårt eftersom denna kan bero på ett antal faktorer, exempelvis mängden brännbart material i en lokal och konfigurationen av detta. I bilaga E i Eurokod SS-EN 1991-1-2 anges vissa effektutvecklingar per kvadratmeter för olika verksamheter, se tabell 5.9. Dock står det i EKS 8 (Boverket, 2011b) att denna bilaga inte får tillämpas. För att kunna visa hur metoden ska tillämpas krävs det att effektutvecklingar per kvadratmeter ansätts och då det enbart finns bristfälliga källor på effektutvecklingar per kvadratmeter används bilaga E i Eurokod SS-EN 1991-1-2. Detta innebär att den totala effektutveckling som genereras inte är tillämplig för dimensionering av enskilda byggnader. Vid dimensionering av byggnader måste effektutveckling per kvadratmeter samt brandskadeområde avgöras från fall till fall. De effektutvecklingar per kvadratmeter som används är alltså värden som används med det huvudsakliga syftet att åskådliggöra hur fördelningarna över effektutvecklingar ska tas fram.

Tabell 5.9 - Effektutveckling per area för olika verksamheter (SIS, 2007)

Maximal värmeutveckling RHR_f		
Verksamhet	Brandtillväxt	RHR_f [kW/m ²]
Bostäder	Normal	250
Sjukhus (rum)	Normal	250
Hotell (rum)	Normal	250
Bibliotek	Snabb	500
Kontor	Normal	250
Klassrum i en skola	Normal	250
Varuhus	Snabb	250
Teater (biograf)	Snabb	500
Kommunikation (offentligt utrymme)	Långsam	250

RHR_f i tabellen ovan är maximal värmeutveckling producerad av en bränslekontrollerad brand motsvarande 1 m² yta.

I litteraturen finns en del värden tillgängliga för effektutveckling per area för detaljhandel (*eng. retail*). Dessa värden sträcker sig mellan 500-570 kW/m² (Holborn et al., 2004; CIBSE, 2003; NFPA, 2000).

För lagerbyggnader anges i Holborn et al. (2004) ett värde på effektutveckling per kvadratmeter på 1000 kW/m².

För idrottsanläggningar har explicita värden för effektutveckling per kvadratmeter ej hittats.

Effektutvecklingarna per kvadratmeter antas vara per kvadratmeter golvyta.

5.3.1 Allmän byggnad – Handel

De effektutvecklingar som tillämpas för *Allmän byggnad – Handel* är 250 kW/m² eftersom att det är värdet Eurokod anger. Det kommer även att användas ett värde som är högre på grund av att detta har återfunnits i litteraturen. Det värde som används är 535 kW/m² och det kommer att likformig fördelas mellan 500-570 kW/m², de värden som anges litteraturen som nämnts ovan. Fördelningen görs med hjälp av @RISK.

5.3.2 Allmän byggnad – Idrottsanläggning

När det gäller idrottsanläggningar har inga värden för effektutveckling per kvadratmeter för denna typ av byggnader hittats. Därför görs en uppskattning av effektutvecklingen. Då Eurokod anger effektutvecklingar som ligger mellan 250 och 500 kW/m² för de flesta förekommande verksamheterna, se tabell 5.9 ovan, ansattes dessa värden även på idrottsanläggningar.

5.3.3 Industri – Lager

Holborn et al. (2004) anger ett värde på 1000 kW/m² och det är denna effektutveckling per kvadratmeter som kommer användas i tillämpningen.

5.4 Fördelning över maximal effektutveckling

I detta delkapitel redovisas hur fördelningarna över maximal effektutveckling tas fram. Med hjälp av effektutvecklingarna per kvadratmeter samt fördelningarna av brandskadeområde kan fördelningar över totala effektutvecklingen beräknas.

5.4.1 Effektutvecklingar i startföremålen

Effektutvecklingar i startföremål har tagits fram med hjälp av Särdaqvist (1993). De effektutvecklingar som har använts utgörs av ett lågt värde och ett högre värde samt ett medelvärde. Beroende på vilken omfattning branden hade vid räddningstjänstens ankomst tilldelades föremålen de olika effektutvecklingarna. Som nämnts innan innebär det att om branden enbart hade rökutveckling vid räddningstjänstens ankomst tilldelades den en lägre effektutveckling för föremålet, de som var släckta/slocknade tilldelades en medeffektutveckling och de som var i startföremålet tilldelades en högre effektutveckling. För värden på effektutvecklingar för startföremålen hänvisas till bilaga B.4 där värden finns för startföremål i respektive byggnadskategori. Framtagandet av fördelningar för startföremålens effektutvecklingar finns i bilaga D.

Utifrån de olika effektutvecklingarna kategoriserades bränderna i startföremålen i olika effektutvecklingskategorier. På detta sätt togs en fördelning över effektutvecklingar för startföremålen fram. Effektutvecklingarna för startföremålen påverkas inte av effektutveckling per kvadratmeter utan är konstanta och placeras in i den övergripande kategori av effektutvecklingar som uppstår för de olika effektutvecklingarna per kvadratmeter, se bilaga E. Tyvärr har detta förfarande inte kunnat användas på de större bränderna eftersom det inte finns någon möjlighet att kvantifiera dem i samma utsträckning. Startföremålen behandlas separat eftersom möjligheten till detta finns. Önskvärt hade varit att samtliga bränder kunnat behandlas på samma sätt.

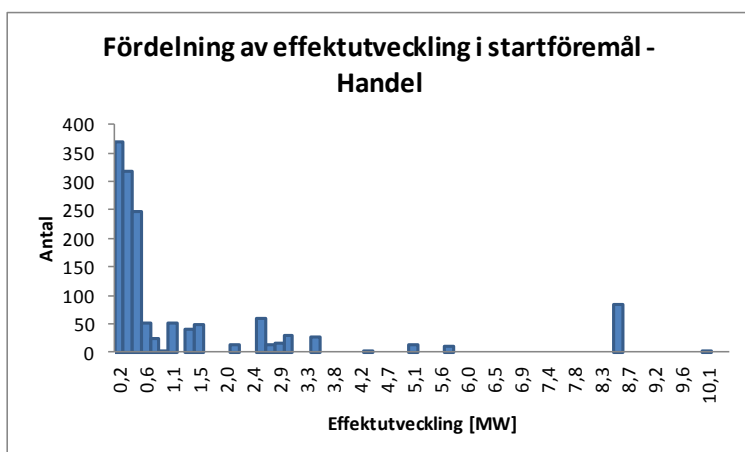
Om man räknar om de totala effektutvecklingarna för startföremålen till en effektutveckling per kvadratmeter så blir dessa i många fall högre än de värden för effektutvecklingar per kvadratmeter som anges i litteraturen. Detta beror till största del på att startföremålen har eldats upp och tillåtits brinna fritt (Särdaqvist, 1993). Värdena

som anges i exempelvis Eurokod SS-EN 1991-1-2 anges för en hel verksamhet där alla tomma ytor och likande tas i beaktelse.

Nedan redovisas fördelningen av effektutvecklingar för startföremålen i respektive byggnadskategori. Observera att antalet bränder för varje byggnadskategori är olika.

Allmän byggnad – Handel

Fördelningen av startföremålens effektutvecklingar för *Allmän byggnad - Handel* framgår av figur 5.21.

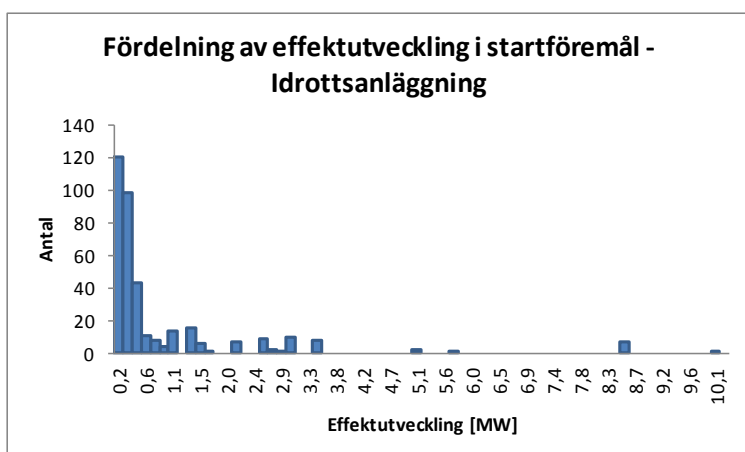


Figur 5.21- Fördelning av startföremålens effektutvecklingar *Allmän byggnad - Handel*

De flesta bränderna i startföremålen genererar en relativt låg effektutveckling. Dock finns det bränder som ger höga effektutvecklingar, exempelvis några bränder i lös inredning.

Allmän byggnad – Idrottsanläggning

Fördelningen av startföremålens effektutvecklingar för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning* framgår av figur 5.22.

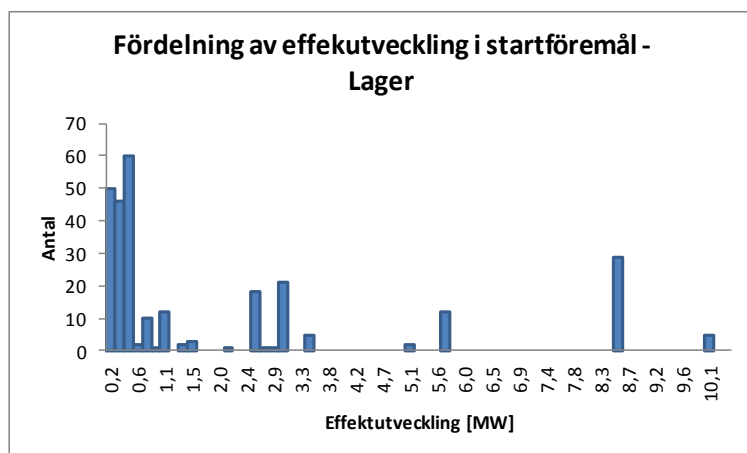


Figur 5.22- Fördelning av startföremålens effektutvecklingar *Allmän byggnad - Idrottsanläggning*

Även bränder i startföremål i idrottsanläggningar ger en majoritet lägre effektutvecklingar samtidigt som vissa bränder ger högre effektutvecklingar.

Industri – Lager

Fördelningen av startföremålens effektutveckling för *Industri - Lager* framgår av figur 5.23.



Figur 5.23- Fördelning av startföremålens effektutvecklingar *Industri - Lager*

Även i lagerbyggnader genererar en majoritet av bränderna i startföremålen lägre effektutvecklingar. Dock finns det bränder i vissa sorters startföremål som ger högre effektutvecklingar.

5.4.2 Statistiska parametrar för effektutvecklingar

Även för de olika effektutvecklingarna tas statistiska parametrar fram, så som förväntat värde och standardavvikelse. Fördelningen som används för effektutvecklingarna är också den lognormalfördelad och därför tas även lognormalfördelningsparametrar fram. Det är ekvationerna 4.2 till 4.6 som använts för att ta fram fördelningarna för effektutvecklingarna. För att ta fram de olika percentilerna används ekvation 4.7.

För att göra framtagandet av fördelningarna över effektutvecklingen mer överskådligt visas ett exempel. Det exempel som visas är för *Allmän byggnad - Handel* när effektutvecklingen är 250 kW/m^2 . I figur 5.24 redovisas brandskadeområde (area_{uni}), effektutveckling per kvadratmeter (HRRPUA), total effektutveckling (HRR), antal bränder utan startföremålen (Antal, antal bränder i startföremålen (Antal SF), totalt antal bränder alltså inklusive startföremålen, andel (sannolikhet, p) samt parametrar för att beräkna standardavvikelse och lognormalfördelningsparametrar.

För att ta fram förväntad effektutveckling används de brandskadeområden som togs fram i metoddelen. Brandskadeområdena ges i form av intervall och då det inte går att säga så mycket om hur bränderna fördelar sig inom varje intervall så ansätts en likformig fördelning kring medelvärdet för varje intervall. Dessa brandskadeområden multipliceras med effektutvecklingen per kvadratmeter. Därefter kan det förväntade värdet beräknas med hjälp av ekvation 4.2 och det sker genom att multiplicera andelen med total effektutveckling, (Andel x HRR), och summera dessa. Det förväntade värdet blir 2,23 MW. Andelen fås genom att dela antalet bränder i respektive effektutveckling med totala antalet bränder. Som figur 5.24 visar sätts antalet bränder i startföremålen in för sig, alltså i rätt total effektutvecklingsindelning som ses i HRR i figuren. Detta kan göras genom att totala effektutvecklingen för startföremålen redan är känd. Detta innebär även att startföremålen inte räknas dubbelt. Standardavvikelsen beräknas med ekvation 4.3 och blir 3,0.

Lognormalfördelningsparametrarna ges av ekvation 4.4 till 4.6 och percentiler beräknas med ekvation 4.7. Dessa värden redovisas även de i figur 5.24 för *Allmän byggnad - Handel* med effektutvecklingen 250 kW/m². Tillvägagångssättet tillämpas analogt på övriga byggnadskategorier och resultaten presenteras i kapitel 5.4.3 och beräkningsgången återfinns i bilaga E.

Area_uni, Handel	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Tot.antal	Andel	p*x_HRR
2,5	0,25	0,6	200	987	1187	0,53	0,33
6	0,25	1,5	200	170	370	0,16	0,25
7,5	0,25	1,9	69	0	69	0,03	0,06
9	0,25	2,3	108	14	122	0,05	0,12
15,5	0,25	3,9	132	146	278	0,12	0,48
25,5	0,25	6,4	56	29	85	0,04	0,24
50	0,25	12,5	49	87	136	0,06	0,76
82,5	0,25	20,6	0	0	0	0,00	0,00
232,5	0,25	58,1	0	0	0	0,00	0,00
					2247	väntevärde	2,23
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
0,6	1187	742	464		sigma	1,01	
1,5	370	555	833		väntev.	0,29	
1,9	69	129	243				
2,3	122	275	618				
3,9	278	1077	4174				
6,4	85	542	3454		E(x)	2,2	
12,5	136	1700	21250		X_95	7,1	
20,6	0	0	0		X_99,5	18,1	
58,1	0	0	0				
	2247	5020	31035				
	s=	3,0			2,23	fördelning över HRR, 250	

Figur 5.24 – Beräkning av statistiska parametrar, med alla omfattningskategorier

5.4.3 Resultat av framtagande av fördelning över maximal effektutveckling

Fördelningar över effektutvecklingar för respektive byggnadskategori redovisas i detta kapitel. Det är lognormalfördelningsparametrarna samt lognormalfördelningen anpassad till statistiken som redovisas. Det är effektutvecklingen i 99,5-percentilen som är av intresse då denna effektutveckling kan användas för att se om den leder till övertändning eller ej i aktuell byggnad. Effektutvecklingarna fås genom att multiplicera brandskadeområdena med de valda effektutvecklingarna per kvadratmeter.

Allmän byggnad – Handel

Tabell 5.10 redovisar antalet bränder, lognormalfördelningsparametrarna μ och σ , samt värdena för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilerna för de två olika effektutvecklingarna per kvadratmeter som ansatts.

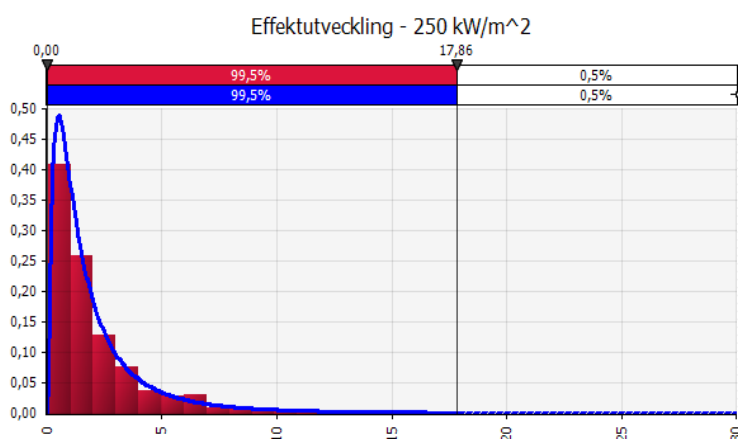
Tabell 5.10 - Lognormalfördelningsparametrar för effektutveckling *Allmän byggnad - Handel*

Effektutveckling	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [MW]	x ₉₅ [MW]	x _{99,5} [MW]
Handel, 250 kW/m²	2247	0,29	1,01	2,2	7,1	18,1
Handel, 535 kW/m²	2247	0,86	0,97	3,8	11,7	28,9

Anledningen till att 99,5-percentilen för 535 kW/m² inte är dubbelt så stor beror på att effektutvecklingarna i startföremålen inte påverkas av effektutvecklingen per

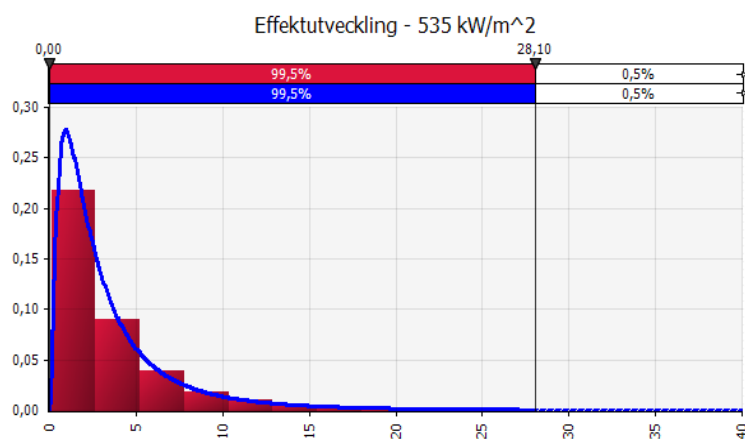
kvadratmeter. När effektutvecklingen per kvadratmeter ökas blir kategorierna för den totala effektutvecklingen större. Exempelvis blir den lägsta kategorin för 250 kW/m^2 $0,6 \text{ MW}$ medan den för 535 kW/m^2 blir $1,3 \text{ MW}$. Detta innebär att fler av de effektutvecklingarna i startföremålen täcks in av de lägre kategorierna och bidrar till att en större andel bränder hamnar i de lägre kategorierna. Detta påverkar då även percentilerna och detta är orsaken till att percentilerna i denna rapport inte har ett linjärt förhållande till effektutvecklingen per kvadratmeter.

Figur 5.25 redovisar lognormalfördelningen av effektutvecklingen för 250 kW/m^2 med en trendlinje anpassad till fördelningen. 99,5-percentilen presenteras i figuren. På samma sätt som för brandskadeområdet kan det förväntade värdet beräknas med ekvation 4.6.



Figur 5.25 - Lognormalfördelad effektutveckling, 250 kW/m^2 Allmän byggnad - Handel

Figur 5.26 redovisar lognormalfördelningen av effektutvecklingen för 535 kW/m^2 med en trendlinje anpassad till fördelningen. På samma sätt som för figur 5.25 presenteras 99,5-percentilen i figuren och det förväntade värdet kan beräknas med hjälp av ekvation 4.6.



Figur 5.26 - Lognormalfördelad effektutveckling, 535 kW/m^2 Allmän byggnad - Handel

Allmän byggnad – Idrottsanläggning

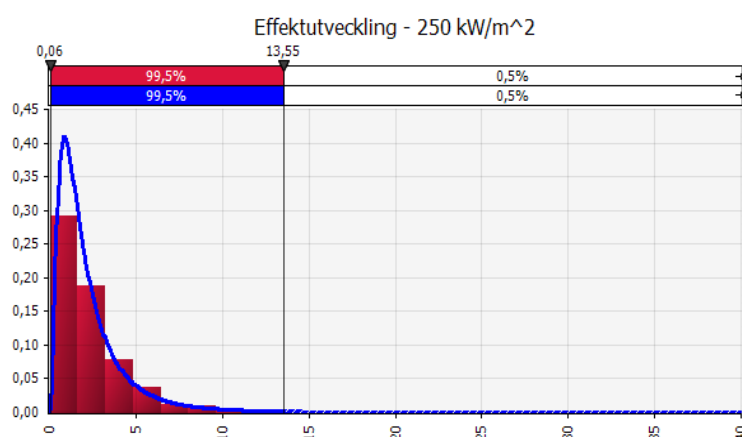
I tabell 5.11 redovisas antal bränder, lognormalfördelningsparametrarna μ och σ , samt numeriska värden för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilerna för de två olika effektutvecklingarna per kvadratmeter som ansatts.

Tabell 5.11 - Lognormalfördelningsparametrar för effektutveckling Allmän byggnad - Idrottsanläggning

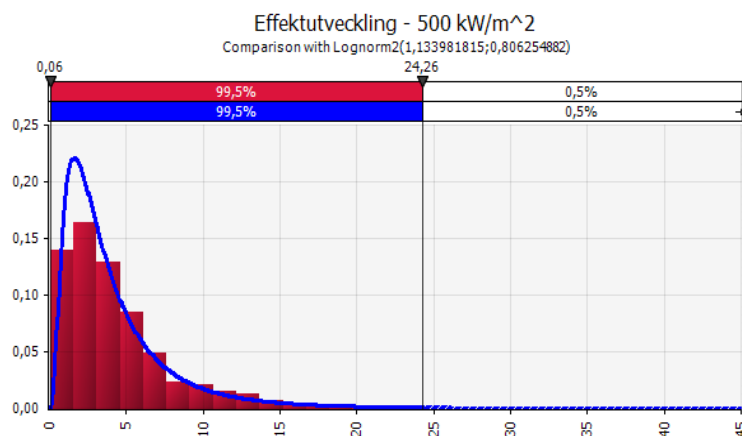
Effektutveckling	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [MW]	x_{95} [MW]	$x_{99,5}$ [MW]
Idrottsanläggning (skola), 250 kW/m ²	566	0,51	0,82	2,3	6,4	13,7
Idrottsanläggning (skola), 500 kW/m ²	566	1,13	0,81	4,3	11,7	24,8

Anledningen till att percentilerna inte fördubblas vid en dubbelt så stor effektutveckling per kvadratmeter är av samma orsak som beskrivits ovan, det vill säga att effektutvecklingarna i startföremålen inte påverkas av effektutvecklingen per kvadratmeter.

I figur 5.27 och 5.28 redovisas lognormalfördelningen av effektutvecklingen för 250 kW/m² respektive 500 kW/m² med en trendlinje anpassad till fördelningen. 99,5-percentilen presenteras i båda figurerna och kan även ses i tabell 5.11. Det förväntade värdet kan beräknas med ekvation 4.6 och redovisas i tabell 5.11 ovan.



Figur 5.27 - Lognormalfördelad effektutveckling, 250 kW/m² Allmän byggnad - Idrottsanläggning



Figur 5.28 - Lognormalfördelad effektutveckling, 500 kW/m² Allmän byggnad - Idrottsanläggning

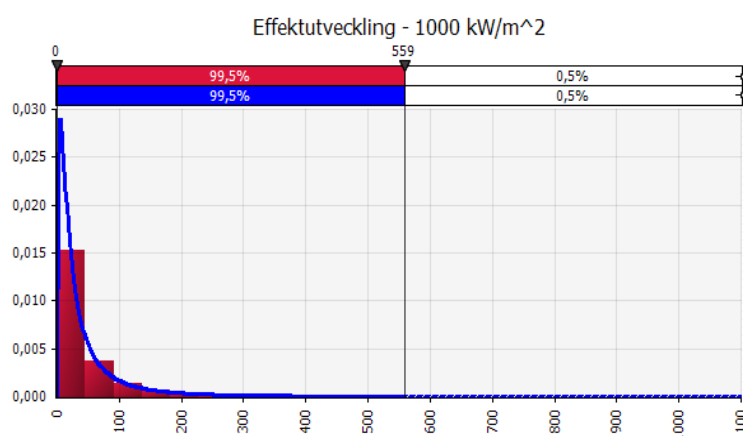
Industri – Lager

I tabell 5.12 redovisas antal bränder, lognormalfördelningsparametrarna μ och σ , samt numeriska värden för förväntat värde och 95- och 99,5-percentilerna för 1000 kW/m².

Tabell 5.12 - Lognormalfördelningsparametrar för effektutveckling Industri - Lager

Effektutveckling	Lognormalfördelningsparametrar					
	N	μ	σ	E(x) [MW]	x ₉₅ [MW]	x _{99,5} [MW]
Lager, 1000 kW/m ²	583	3,17	1,23	50,6	179,5	561,9

I figur 5.29 redovisas lognormalfördelningen över effektutvecklingen 1000 kW/m². 99,5-percentilen presenteras i figuren och anges i tabell 5.12 ovan. Det förväntade värdet beräknas med ekvation 4.6 och redovisas i tabell 5.12.



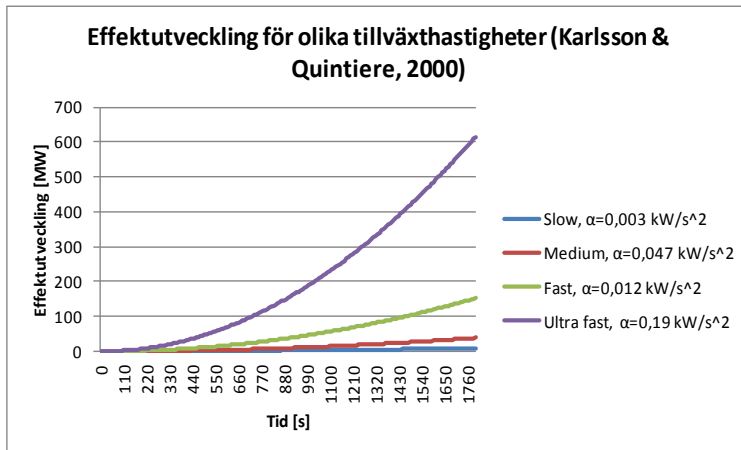
Figur 5.29 - Lognormalfördelad effektutveckling, 1000 kW/m² Industri - Lager

5.4.4 Rimlighetskontroll av effektutvecklingarna

För att kontrollera rimligheten i de effektutvecklingar som tagits fram i tillämpningen görs ventilationsberäkningar för att hur kontrollera hur mycket syre som krävs för att nå de framtagna effektutvecklingarna. Med ventilationskontrollerad menas att det inte finns tillräckligt mycket syre tillgängligt för att branden ska fortsätta att tillväxa. Eftersom det i tillämpningen är 99,5-percentilen som är av störst intresse har rimlighetskontroller gjorts för dessa effektutvecklingar.

Industri – Lager

Om en brand tillåts tillväxa obehindrat enligt en $\alpha \cdot t^2$ -kurva i 30 minuter kan en brand med en mycket snabb tillväxthastighet ($\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$) maximalt nå en effektutveckling på 615 MW. Med en snabb tillväxthastighet ($\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$) blir den maximala effektutvecklingen under 30 minuter 152 MW, se figur 5.30.



Figur 5.30 - Effektutvecklingar för olika tillväxthastigheter

I tillämpningsfallet *Industri – Lager* är effektutvecklingen i 99,5-percentilen 560 MW. För att överhuvudtaget nå en sådan stor effektutveckling krävs det att branden kan tillväxa helt obehindrat under nästan 30 minuter. För att branden ska kunna nå en sådan stor effektutveckling krävs att det finns tillräckligt mycket bränsle och syre för att branden ska kunna tillväxa. Genom att anta att förbränning kan fortgå tills syret i ett utrymme understiger 10 massprocent och att varje kilogram syre kan ge 13,1 MJ energi kan den energi som kan frigöras vid en brand beräknas med ekvation 5.1 (Staffansson, 2010).

$$E = 13100 \cdot V \cdot (0,23 - 0,10) \cdot \rho_{luft} \quad (\text{Ekvation 5.1})$$

E = energi som kan frigöras av branden [kJ]

V = rumsvolym [m³]

ρ_{luft} = luftens densitet, 1,2 kg/m³ [kg/m³]

Den energi en brand med effektutveckling på 560 MW frigör enbart under sin tillväxt beräknas med ekvation 5.2–5.4. I tabell 5.13 redovisas värdena som används och fås fram vid beräkningarna.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (\text{Ekvation 5.2})$$

$$t_{tillväxt} = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} \quad (\text{Ekvation 5.3})$$

$$Q_{tillväxt} = \int_0^t \alpha t^2 dt = \left[\frac{\alpha t^3}{3} \right]_0^t \quad (\text{Ekvation 5.4})$$

Tabell 5.13 – Parametrar till ventilationskontroll *Industri - Lager*

\dot{Q}	561,9 MW
α	0,19 kW/s ²
$t_{tillväxt}$	1720 s
$Q_{tillväxt}$	322100 MJ

Den volym som krävs för att innehålla tillräckligt med syre för att göra branden möjlig, enligt ekvation 5.1, behöver då vara $\frac{322100 \cdot 10^3}{13100 \cdot (0,23 - 0,10) \cdot 1,2} = 157614 \text{ m}^3$. Detta är en stor volym och även fast det finns så stora byggnader krävs det att flera andra parametrar är gynnsamma för att branden ska kunna nå en så hög effektutveckling.

För att kontrollera storleken på öppningen som krävs för effektutvecklingen 561,9 MW används ekvation 5.5.

$$\dot{Q}_v \approx 1500A_0\sqrt{H_0} \quad (\text{Ekvation 5.5})$$

För en effektutveckling på 561,9 MW blir $A_0\sqrt{H_0} = 375$. Om öppningens höjd är till exempel 2,5 m blir då öppningens bredd 95 m och öppningens area skulle då behöva vara 238 m². Detta är en väldigt stor öppning vilket nästan skulle innebära att branden behöver brinna i det fria för att nå den effektutvecklingen.

För att branden ska kunna nå en så hög effektutveckling som 561,9 MW krävs att vissa parametrar är gynnsamma. Dels krävs att branden kan tillväxa med en väldigt snabb tillväxthastighet för att ens kunna nå effektutvecklingen under en rimlig tidshorisont, dels att det finns tillräckligt mycket brännbart material och tillgång på syre för att underhålla en sådan kraftig brand. Effektutvecklingen kan jämföras med kärnkraftsreaktorn Oskarshamn 1 vars maxeffekt är cirka 500 MW (OKG, 2013).

Slutsatsen som dras är att effektutvecklingen inte är rimlig att uppstå, framförallt för att öppningen som krävs är väldigt stor. Detta tyder på att metoden inte är tillämpbar för lager. Detta beror på det stora brandskadeområdet för lager. Det stora brandskadeområdet tillsammans med en effektutveckling på 1000 kW/m² genererar en orimligt hög effektutveckling. Effektutvecklingen per kvadratmeter i sig är rimlig att uppstå med tanke på hur mycket brännbart material det kan finnas i ett lager. Anledningen till det orimliga resultatet lär därför vara att ekvationen som används för att beräkna brandskadeområdet inte lämpar sig för lager på grund av de stora öppna ytor som lager ofta utgör.

Allmän byggnad – Handel

Effektutvecklingarna i 99,5-percentilerna för de två olika effektutvecklingarna per kvadratmeter i *Allmän byggnad - Handel* är 18,1 MW (250 kW/m²) respektive 28,9 MW (535 kW/m²). Eurokod 1991-1-2 anger att tillväxtfasen för en brand i ett varuhus ska ha en snabb brandtillväxt. Utifrån de värden som anges i Eurokod 1991-1-2 innebär detta ett α -värde på 0,044 kW/s². Tiden för att en brand ska nå effektutvecklingen 18,1 MW med en snabb tillväxt enligt en $\alpha \cdot t^2$ -kurva blir enligt ekvation 5.3 dryga 640 sekunder, det vill säga lite över tio minuter. Med hjälp av ekvation 5.4 och 5.1 visar det sig att det behövs en lokal med en volym på cirka 1900 m³ för att brandens tillväxt ska kunna ske. 1900 m³ är en relativt liten volym och det är därför rimligt att förutsätta att en brand kan tillväxa till 18 MW utan att den blir ventilationskontrollerad. Detta förutsatt att branden inte uppstår i något mindre utrymme i lokalen som i så fall begränsar effektutvecklingen.

Tiden det tar för en brand att nå effektutvecklingen 28,9 MW med en snabb tillväxt är enligt ekvation 5.3 drygt 800 sekunder, strax över 13 minuter. Ekvation 5.4 och 5.1 visar att det behövs en lokal med en volym på cirka 3800 m³ för att tillväxten ska kunna ske. I mindre lokaler kan tillgången på syre begränsa effektutvecklingen. Därför är det att rekommendera att göra en ventilationskontroll för de byggnader där effektutvecklingarna är tänkta att tillämpas, för att i varje enskilt fall få en rimlighetsuppskattning av effektutvecklingarna.

Allmän byggnad – Idrottsanläggning

För idrottsanläggningar är effektutvecklingarna i 99,5-percentilen 13,7 MW (250 kW/m²) respektive 24,8 MW (500 kW/m²). Dessa effektutvecklingar är lägre än de för *Allmän byggnad – Handel*. Om samma α -värde används som för handelsbyggnader, det vill säga en snabb tillväxt, kan slutsatsen dras att effektutvecklingarna för idrottsanläggningar även de kan uppstå och är rimliga förutsatt att byggnaderna inte utgör relativt små volymer.

De rimlighetskontroller som genomförts ovan, i form av uppskattningar kring vilken byggnadsvolym som krävs för att en brand ska kunna nå effektutvecklingarna i 99,5-percentilerna, ska ses som grova uppskattningar. Vid tillämpning av metoden som tagits fram i denna rapport är det viktigt att kontrollera om de resultat som tas fram i tillämpningen är realistiska. Eftersom effektutvecklingen per kvadratmeter i stor grad påverkar resultaten är det viktigt att först bestämma en för byggnaden representativ effektutveckling per kvadratmeter. En rimlighetskontroll av de effektutvecklingar som tas fram kan sedan göras. Eftersom denna rapport behandlar byggnadskategorier och inte specifika byggnader kan ingen specifik byggnadsvolym användas för att göra en ventilationskontroll för en specifik byggnad. Vid tillämpning på en specifik byggnad kan noggrannare ventilationsberäkningar göras för att ta reda på om och vid vilken tidpunkt branden blir ventilationsbegränsad och hur stora öppningar som krävs för att underhålla branden med syre.

Ovanstående rimlighetskontroller utgår från att tillväxtfasen för en brand följer en αt^2 -kurva och att det syre som finns i byggnaden är det som kan bidra till förbränningen. I kontrollen har ingen hänsyn tagits till att syre kan tillföras branden genom öppningar och otätheter i byggnaden. Då rapporten inte behandlar en specifik byggnad är det svårt att göra rimliga och generella uppskattningar kring storleken på öppningar som kan bidra till att förse branden med syre. Öppningar och otätheter bidrar till att mer syre än det som finns i själva lokalen kan flöda in och på så sätt bidra till förbränningen. Om hänsyn tas till detta lär därför resultaten av en ventilationskontroll bli att tiden till dess att branden blir ventilationskontrollerad ökar. Detta är ytterligare en anledning till att rimlighetskontroller bör göras i varje enskilt fall då resultaten i denna rapport är generella och behandlar byggnadskategorierna i stort.

I Bennets et al. (1998) finns vissa värden för effektutvecklingar som tagits fram vid fullskaleförsök. Fullskaleförsöken som presenteras i Bennets et al. (1998) representerar brand i en leksaksaffär och brand i ett butikslager tillhörande en skoaffär. Scenariona ska likna brand i en affär i en större lokal, typ en galleria. Just dessa två försök utfördes för att de utgör "worst-case scenarios" på grund av lagring av stora mängder brännbart material och snabba brandförlopp (Bennets et al., 1998).

Försöket med en osprinklad brand i vad som ska representera en leksaksaffär ledde till en maximal effektutveckling på 25 MW. Försöket med en osprinklad brand i butikslager tillhörande en skoaffär gav en maximal effektutveckling på 40 MW, mycket på grund av den stora mängden brännbart material. Denna brand menar Bennets et al. (1998) vara en av de mest allvarliga osprinklade bränder som kan uppstå när det gäller handelsverksamhet. Att en sådan brand uppstår menar Bennets et al (1998) vara mycket ovanligt.

Vid en jämförelse med de effektutvecklingar som tagits fram för *Allmän byggnad - Handel* så förefaller de i rapporten framtagna värdena ligga i samma storleksordning som de i Bennets et al. (1998). 40 MW är dock mer än något av de resultat som tagits fram för *Allmän byggnad - Handel*. Bennets et al. (1998) menar dock att detta är en sällsynt allvarlig brand och en typ av "worst-case scenario" och därmed skulle denna kunna vara så sällsynt att den inte ryms inom 99,5-percentilen. Effektutvecklingarna vid försöken i Bennets et al. (1998) uppstod även till stor del på grund av mängden och typen brännbart material som användes vid försöken. Effektutvecklingen per kvadratmeter vid försöken kan alltså ha varit större än de värden som tillämpats för *Allmän byggnad - Handel* och därmed ha lett till högre maximala effektutvecklingar.

6 Tillämpningsexempel: Robusthet i Br2-byggnader

I följande kapitel redovisas konkreta förslag på hur robusthet kan uppnås i en byggnad med avseende på lokal brand.

Robusthet är en eftertraktad egenskap i en konstruktion eftersom det minimerar riskerna för omfattande progressiva kollapser. Robusthet i en konstruktion kan framförallt uppnås genom alternativa lastvägar eller segmentering. Vid stora avancerade konstruktioner beaktas robusthet i största möjliga mån men i enklare konstruktioner, exempelvis hallbyggnader, finns risk att robusthetstänket faller i skymundan (Canisius, 2011). Det vanligaste sättet att uppföra en hallbyggnad i Sverige idag kan även komma i konflikt med hur en robust konstruktion uppförs.

Som nämnts tidigare är stomstabilisering via skivverkan i taket och vindstag i väggarna det vanligaste sättet att uppföra en hallbyggnad. För att takmaterialet ska klara av att verka som en skiva krävs ofta många infästningspunkter i takåsar och balkar. Just dessa infästningspunkter leder till en ökad kontinuitet i konstruktionen.

De bränder som genererar effektutvecklingar i 99,5-percentilen som är tänkta att användas när sannolikheten för övertändning tas fram ger upphov till stor påverkan på en konstruktion. Även om sannolikheten för övertändning är låg när dimensionering enligt lokal brand görs finns risken att en verklig brand blir allvarligare än den dimensionerande. Därför är det viktigt att göra en konstruktion robust så att den har ett inbyggt motstånd mot oförutsedda händelser som kan leda till en progressiv kollaps.

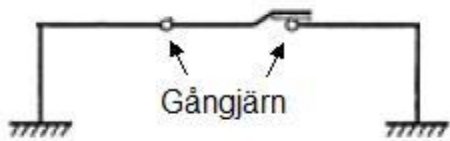
6.1 Robusthet via segmentering

Som nämnts tidigare syftar segmentering till att minska elementens beroende av varandra för att uppnå ett visst oberoende som innebär att resterande delar av en konstruktion behåller bärförmågan vid bortfall av ett segment. Det är knutpunkterna och infästningarna i en konstruktion, som utgörs av olika typer av förband, som påverkar sammanhållningen av konstruktionselementen.

För att uppnå segmentering i en hallbyggnad har två olika tillvägagångssätt identifierats. Gemensamt för de båda sätten är att identifiera kritiska punkter i konstruktionen som skulle kunna utgöra lämpliga segmentgränser. Därefter utformas segmentgränserna så att en eventuell skada och kollaps på grund av en lokal brand enbart sprider sig till segmentgränserna, där kollapsen avstannar.

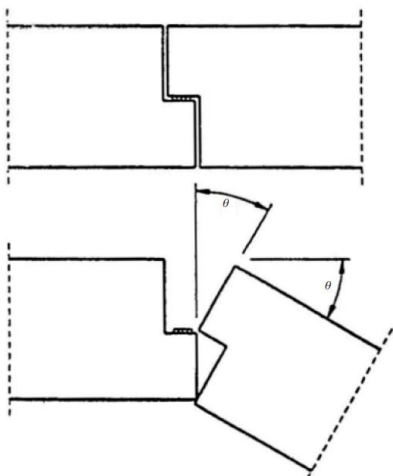
6.1.1 "Gångjärnsprincipen"

Ett tillvägagångssätt för att uppnå segmentering är att använda sig av en typ av gångjärnsprincip. Starossek (2007b) diskuterar hur den här principen har använts vid dimensioneringen av Confederation Bridge i Kanada. Principen innebär att gångjärn placeras på lämpliga ställen i konstruktionen, till exempel på två ställen i en takbalk, se figur 6.1. Vid en skada eller kollaps frikopplas byggnadsdelen från övriga konstruktionen med hjälp av gångjärnen. Det är viktigt att den övriga konstruktionen då är tillräckligt hållfast för att klara av de förskjutningar som uppstår när elementet frikopplas så att kollapsen inte fortplantas. Gångjärnsprincipen framgår av figur 6.2.



Figur 6.1 - Principskiss över "gångjärnsprincipen"

Fördelar med denna princip är att det eventuella kollapsområdet är känt eftersom att det kollapsade elementet inte ska bli större än avståndet mellan gångjärnen. Dock finns en risk att de delar från vilka elementet fränkopplats kommer att deformeras och böjas ner, exempelvis de delarna till höger och vänster om gångjärnen i figur 6.1. Hur stora eventuella nedböjningar blir beror då på avståndet mellan gångjärn och knutpunkter. Det är därför viktigt att knutpunkter utformas för att klara av de eventuella förskjutningar som uppstår.



Figur 6.2 – Principskiss över utformning av ett "gångjärn", (Starossek, 2007b)

Nackdelar med denna princip är att finna en utformning som fungerar på önskvärt sätt. Det kan vara svårt att rent praktiskt utforma eftersom gångjärnen ska kollapsa på rätt sätt samtidigt som de inte får utgöra en svaghet i konstruktionen. Deras funktion ska alltså enbart utnyttjas när det så krävs.

6.1.2 "Svagare" knutpunkter

Det andra tillvägagångssättet går ut på att göra knutpunkterna i segmentgränserna "tillräckligt svaga" för att ge vika vid en eventuell kollaps. Tillvägagångssättet syftar till att en skada eller kollaps enbart ska drabba det berörda segmentet och inte hela konstruktionen. Om knutpunkterna vid segmentgränserna kan avbryta kollapsen via de diskontinuiteter som uppstår i de svaga knutpunkterna förhindras kollapsen att sprida sig till nästa segment.

Fördelar är även här att det förväntade området som kollapsar är känt, alltså enbart ett segment kollapsar. Eftersom att det ändå krävs förband i knutpunkter innebär det att det inte krävs extra förband för att använda sig av "svagare" knutpunkter. Det som krävs är att de berörda knutpunkterna görs "tillräckligt svaga" för att en eventuell kollaps inte ska spridas.

Nackdelar kan vara att de svagare knutpunkterna kommer i konflikt med andra egenskaper hos byggnaden som är beroende av kontinuitet. Denna problematik diskuteras till viss del i kapitel 6.1.3 och 6.3.1. Ytterligare en nackdel som gäller segmentering i allmänhet är att dimensioneringen utgår ifrån att kollaps av ett helt segment kan komma att ske. Detta är något pessimistiskt och något konstruktörer inte är vana vid.

6.1.3 Praktiskt genomförande

Segmenteringsmetoden är en metod som inte används medvetet speciellt ofta. Trots att det inte är ett medvetet val att göra konstruktionen segmenterad är detta ändå ett relativt vanligt resultat vid uppförandet av hallbyggnader (Starossek, 2006). Denna omedvetna segmentering uppstår på grund av det sätt som en hallbyggnad oftast är uppförd.

Konstruktionen består ofta av pelare på vilka det ligger primärbalkar. Ovanpå primärbalkarna kan det finnas sekundärbalkar (takåsar) som binder ihop ramarna (pelare och primärbalkar) med varandra. Ovanpå takåsarna fästs en takplåt som används som stomstabilisering (Höglund, 2012). Detta konstruktionssätt blir i sig relativt segmenterat eftersom de olika ramarna inte är sammankopplade med varandra mer än via takåsar och takplåten. Denna segmentering är dock inte fullständig eftersom om en takbalk kollapsar finns det risk att takbalken drar med sig takåsarna. Takåsarna kan då i sin tur dra med sig takplåten och intilliggande takbalkar. När takplåten används för skivverkan är detta ett scenario som är troligt. För att uppnå skivverkan krävs det många infästningar mellan takåsarna och takplåten för att stabilisera byggnaden och för att kunna transportera vindlasten (Höglund, 2012). Just dessa infästningar ökar kontinuiteten och försvårar segmentering.

För att åstadkomma en medveten segmentering krävs det att kontinuiteten på grund av infästningarna minskas. Om takplåten används som en skiva för stomstabilisering hamnar detta alltså i konflikt med segmenteringen.

6.1.4 Påverkan av brand

I händelse av brand är segmentering en lämplig princip att använda sig av på grund av att kollapsområdet är begränsat samt att områdena som kollapsar kan göras små utifrån hur stora segmenteringsgränserna görs. Segmentering ger inget plötsligt brott vid brandpåverkan och detta är positivt eftersom branden och ett segt brott kan ge en varning om förestående kollaps.

6.2 Robusthet via alternativa lastvägar

Som nämnts tidigare innebär alternativa lastvägar att en last kan omfördelas på andra lastbärande element. För att lasten ska kunna omfördelas i konstruktionen krävs kontinuitet. Det får inte förekomma några diskontinuiteter i knutpunkter och infästningar eftersom lasten då inte kan omfördelas obehindrat. Konstruktionen måste också förses med en tillräcklig styrka för att klara av en lastökning i fall en skada uppstår i något konstruktionselement.

6.2.1 Kontinuitet och hållfasthet

För att uppnå alternativa lastvägar i en hallbyggnad har ett tillvägagångssätt identifierats. I detta tillvägagångssätt identifieras kritiska punkter i den primära strukturen. Kritiska punkter är de nyckelelement vars kollaps kan få stora konsekvenser om det inträffar en skada i det kritiska elementet. För att sedan uppnå alternativa lastvägar i konstruktionen, så att en skada inte leder till fortskridande kollaps, finns det som nämnts ovan två egenskaper som är viktiga.

Den ena egenskapen är att öka kontinuiteten i konstruktionen vid de kritiska punkterna. Detta kan göras genom att knutpunkter och infästningar är väl utförda så att de respektive elementen är väl förbundna med varandra. Den andra egenskapen som är viktig är att se till att konstruktionen har en tillräcklig styrka, speciellt i de kritiska punkterna, så att elementen klarar av en lastökning vid en eventuell skada eller kollaps

av ett element. Detta kan till exempel göras genom att öka bärförmågan i huvudbalkarna genom ökad hållfasthet i materialet eller öka antalet pelare.

Alternativa lastvägar möjliggörs som nämnts tidigare, bland annat genom bärlinerverkan och för att detta ska kunna utvecklas krävs det att elementen klarar att ta hand om den dragkraft som uppstår i konstruktionen vid en eventuell skada eller kollaps. Ytterligare en sak som krävs för att bärlinerverkan ska uppnås är att konstruktionen har en viss duktilitet eller med andra ord en viss plasticitet.

Fördelar med detta tillvägagångssätt är bland annat att skadan och en eventuell kollaps begränsas till det konstruktionselement där skadan initieras. Detta leder även till att risken för nedfallande byggnadsdelar reduceras.

Nackdelar med detta tillvägagångssätt är bland annat att om något i utformningen av konstruktionen går fel finns det en risk att omfördelning av lasten inte fungerar, till exempel att förbanden är för svaga för att överföra last. Ytterligare en nackdel är eventuellt att tillvägagångssättet kan leda till ökade kostnader då val av material och utformning av förband måste göras med stor noggrannhet.

6.2.2 Praktiskt genomförande

Alternativa lastvägar kan tillämpas utan att komma i konflikt med stomstabilisering i form av skivverkan. Tvärtom kan skivverkan främja alternativa lastvägar då det ökar kontinuiteten i konstruktionen. Även om det inte är ett medvetet val att bygga in alternativa lastvägar för att uppnå robusthet är det stor sannolikhet att det ändå uppnås. De säkerhetsfaktorer som tillämpas vid dimensionering av konstruktionselement och förband kan innebära att elementen och förbanden blir tillräckligt starka för att klara en viss lastökning. Problemet med alternativa lastvägar är att det är svårt att åstadkomma stora deformationer med bibehållen bärförmåga. Risken är att lokalt brott uppstår i svaghetszoner längs lastvägen innan tillräckliga förskjutningar erhållits och ett nytt jämviktsläge hittats.

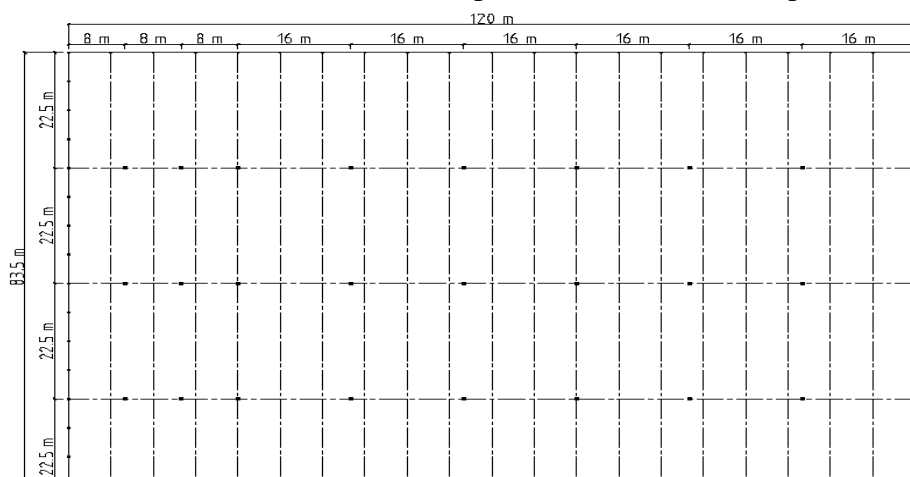
6.2.3 Påverkan av brand

I fallet då en brand bryter ut kan alternativa lastvägar användas om konstruktionen har en tillräcklig styrka för att klara av att omfördela lasterna. Annars finns det en risk att det sker en initial kollaps och på grund av att bärverksdelarna är väl förbundna med varandra kan detta leda till en progressiv kollaps. Med alternativa lastvägar är inte det kollapsade området känt som i fallet med segmentering.

6.3 Praktisk tillämpning på en Br2-byggnader

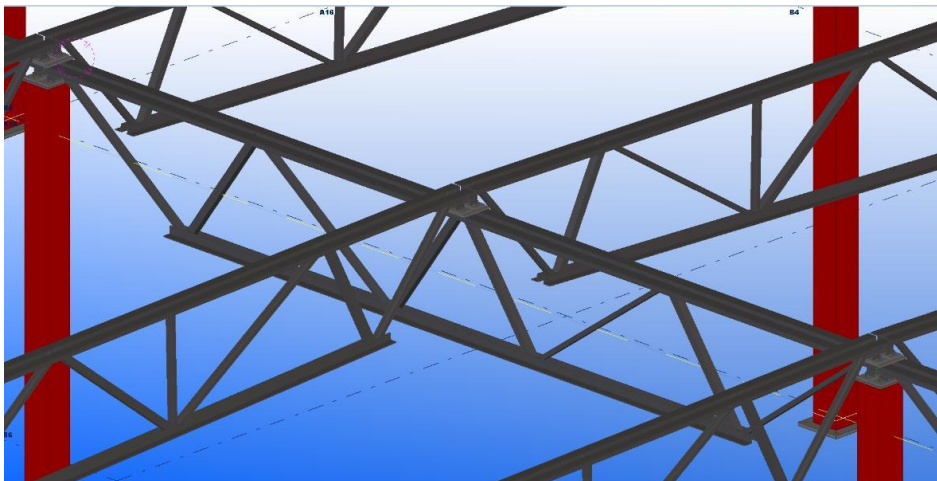
Ett av syftena i denna rapport är att undersöka hur en konstruktion påverkas globalt vid en kollaps till följd av en lokal brand. Konstruktionstypen som berörs i denna rapport är Br2-byggnader och den kollaps som antas ske är att en takbalk kollapsar på grund av en lokal brand och denna initiala skada anses vara relativt stor eftersom att det är en hel takbalk som slås ut. Analysen utgår därför primärt från hur robusthet ska uppnås vid lokal brand och konflikter med andra egenskaper tas ingen hänsyn till. Som underlag för en del av den globala analysen ligger konstruktionsritningar för en 24 000 kvadratmeter stor logistikterminal som uppförs i Sverige under 2013. De delar av underlaget som används i denna rapport redovisas här i rapporten.

Logistikterminalen stomstabiliseras med hjälp av skivverkan i taket och vindstag i väggarna. Stommen utgörs av stålpelare och stålbalkar. Stålbalkarna utgörs i sin tur av primära och sekundära fackverksbalkar. Ytermåtten på byggnaden är 120x167 meter (bxl). Då det är en så stor spännvidd som 120 meter finns det invändiga pelare som bär upp primärbalkarna. Primärbalkarna är upplagda på pelare med ett c/c-avstånd på 16 meter där primärbalkarna har ett c/c-avstånd på 22,5 meter, se figur 6.3. Sekundärbalkarna har ett c/c-avstånd på 6 meter och fästs in i primärbalkarna.



Figur 6.3 – Principskiss över logistikcentralen med primärbalkar och sekundärbalkar. Observera att skissen enbart redovisar halva byggnadens längd.

Figur 6.4 visar hur sekundärbalkarna fästs in i primärbalkarna som i sin tur fäster in i de invändiga pelarna. I just denna konstruktion möjliggör de invändiga pelarna att takbalkarna inte behöver utgöra hela spännvidden (bredden), utan varje fackverk antas vara en takbalk. Detta innebär att lokalens bredd delas in i nio takbalkar istället för en kontinuerlig, se figur 6.3.



Figur 6.4 – Principskiss över infästningar mellan primärbalk och sekundärbalk (Järphag, 2013)

De möjliga kollapserna, som kan ske på grund av att en takbalk i byggnaden som beskrivits ovan kollapsar till följd av en lokal brand, beskrivs generellt nedan:

- Takbalken kollapsar och ingen vidare kollaps sker då takkonstruktionen förblir oberörd
- Takbalken kollapsar och drar med sig intilliggande sekundärbalkar och takskiva men det kollapsade området begränsas till de intilliggande konstruktionselementen
- Takbalken kollapsar och drar med sig intilliggande sekundärbalkar och takskiva vilket leder till en progressiv kollaps av hela eller stora delar av konstruktionen

Det som kan ske när takbalken kollapsar är att kollapsen kan leda till instabilitetsproblem i konstruktionen vilket gör att en instability-type-kollaps kan uppstå. Även en zipper-type-kollaps kan uppstå då lasterna kommer att omfördelas när takbalken förlorar sin bärförmåga och detta kan leda till att närliggande element kollapsar. En mixed-type-kollaps kan även den ske beroende på hur renodlad kollapsen blir.

6.3.1 Lösningar för att uppnå robusthet i berörd byggnad

Det som ska undersökas är hur hallbyggnaden kan göras robust utifrån de metoder som analyseras i denna rapport och därmed minimera konsekvenserna av en kollaps i brandfallet. De olika metoderna som finns för att göra en hallbyggnad mer robust har beskrivits och diskuterats tidigare. För att minimera konsekvenserna av en kollaps beskrivs det först hur segmentering skulle kunna uppnås i konstruktionen. Därefter beskrivs det hur alternativa lastvägar kan uppnås i konstruktionen. Slutligen presenteras valet av lösning.

Segmentering

För att uppnå segmentering i den berörda konstruktionen finns det två tillvägagångssätt, vilka har beskrivits i kapitel 6.1. Det sätt som lämpar sig bäst i detta fall är det sätt som bygger på att knutpunkterna görs ”tillräckligt svaga”. Detta sätt identifieras som det bästa alternativet då det i den aktuella konstruktionen finns många infästningar och förband tack vare de invändiga pelarna. Det leder därför till att det finns många

knutpunkter där förbanden kan dimensioneras så att det uppstår diskontinuiteter vid en eventuell kollaps. Både primärbalkar och sekundärbalkar kan därför utformas med diskontinuiteter i knutpunkter. Dock kvarstår problematiken med att takplåten fungerar som ett bärande element och är kontinuerlig i sitt utförande.

Med avseende på fallet då en lokal brand leder till att en takbalk kollapsar kan takplåten utföras med färre infästningar till sekundärbalken. Detta leder till att sannolikheten för att takplåten ska dra med sig resterande konstruktion minskar eftersom att takplåten fästs in i lägre grad då antalet infästningar minskats. Figur 6.3 visar var diskontinuiteterna eller de så kallade segmentgränserna kan placeras. Tack vara denna konstruktionsutformning är segmentindelningen flexibel i dimensioneringsstadiet. Segmentindelningen kan göras med många segmentgränser och därmed mindre segment, vilket i sin tur leder till att eventuella kollapsar och skadeområden blir mindre. Segmentgränserna kan även göras större om större kollapsar kan tillåtas.

Alternativa lastvägar

Alternativa lastvägar i konstruktionen som analyseras kan uppnås genom att förbättra infästningarna och att konstruktionen har tillräcklig bärförmåga genom hela konstruktionen. Alternativa lastvägar kan tillämpas i den berörda konstruktionen så länge alla knutpunkter görs tillräckligt starka och kontinuerliga för att kunna omfördela laster. Stommen måste också göras tillräckligt stark för att klara av att ta upp de omfördelade lasterna. Alternativa lastvägar hamnar ej i konflikt med takplåtens funktion vid skivverkan. Problem kan däremot uppstå om något förband eller element har brister i dimensionering eller utformning. Alternativa lastvägar bygger på kontinuitet och en sådan brist kan leda till att systemet inte klarar av att förebygga en fortskridande kollaps. Som nämnts i kapitel 3.7 angående systematiska fel är det vanligt att fel byggs in i konstruktionen som kan leda till att alternativa lastvägar inte fungerar som det är tänkt.

Alternativa lastvägar lämpar sig bäst för små initiala skador. Om en lokal brand uppstår kan storleken på denna avgöra hur väl systemet klarar av att omfördela lasterna. En större lokal brand leder till att ett större område berörs och eventuellt kollapsar. Vid bortfall av en takbalk, det scenario som analyseras i denna rapport, kan lasterna bli så stora att omfördelning av laster ej är möjlig utan att kollapsen fortskrider.

6.3.2 Val av lösning i berörd byggnad

Utifrån de förutsättningar som finns i den berörda logistikterminalen är segmentering en lämplig metod för att uppnå robusthet i. Det är en stor initial skada som inträffar och det innebär att konstruktionen kanske inte klarar av att omfördela lasterna och detta gör att alternativa lastvägar inte lämpar sig. Ur ett rent brandtekniskt perspektiv är segmentering det bästa sättet eftersom kollapsområdet då blir känt och takplåten kan utformas med färre infästningar. Detta innebär att sannolikheten att takplåten drar med sig delar av takkonstruktionen vid en kollaps av en takbalk minskar.

6.4 Resultat

Utifrån analysen av logistikterminalen och litteratur som genomlästs uppfattas segmentering som en bra metod att använda för att öka robustheten i en byggnad med avseende på att en takbalk kollapsar på grund av en lokal brand. Detta beror på att segmentering lämpar sig bra i brandfallet eftersom att storleken på den initiala skadan/kollapsen är stor. Att storleken på den initiala skadan/kollapsen är stor innebär

även att alternativa lastvägar inte lämpar sig då dess förmåga att omfördela laster blir mindre när skadan är större. Segmentering innebär även att det eventuella kollapsområdet är känt eftersom att en eventuell kollaps sker inom segmentgränserna.

Ytterligare en sak som gör att segmentering är att föredra är att dimensionerna på pelare och balkar inte behöver ökas och förbanden behöver inte göras starkare vilket är fallet då alternativa lastvägar används.

7 Analys och diskussion

I följande kapitel görs en analys av de framtagna resultaten och en diskussion förs kring de gjorda antagandena.

I detta kapitel analyseras och diskuteras metoden för att ta fram sannolikhetsfördelningar för effektutvecklingar i Br2-byggnader samt hur robusthet kan användas för att minska risken för skador till följd av en lokal brand. Målet med examensarbetet är att utveckla en metod för att kvantifiera när dimensionering enligt lokal brand kan användas i Br2-byggnader. Resultaten av detta är framtagna som en inledande studie på hur det kan visas att lokal brand får användas som dimensioneringsmetod, det vill säga att sannolikheten för övertändning i Br2-byggnader inte överstiger 0,5 %. Vidare är ett mål att undersöka hur en konstruktion kan göras robust utifrån att en bärverksdel kollapsar till följd av en lokal brand.

7.1 Robusthet

Metoden för att ta fram sannolikhetsfördelningar för effektutvecklingar i Br2-byggnader är tänkt att utgöra underlag för en bedömning av sannolikheten för övertändning i en Br2-byggnad. Om effektutvecklingen i 99,5-percentilen tillsammans med byggnadsspecifika parametrar kan visas ej leda till övertändning får dimensionering enligt lokal brand göras. Vid denna dimensionering kan bärverken ofta utföras oskyddade. Även om bärverken ska klara stå emot den lokala branden finns en risk att det uppstår lokalt höga temperaturer som påverkar stålets bärförmåga. En viktig parameter för minska risken för en kollaps i brandfallet är konstruktionens robusthet.

Som nämnts tidigare är segmentering ett tillvägagångssätt som kan användas för att öka robustheten i en konstruktion. I brandfallet är segmenteringen en lämplig metod att använda för att öka robustheten i en konstruktion eftersom att det eventuella kollapsområdet är känt.

I denna rapport analyseras enbart brandfallet men då det är fler perspektiv som ska tas hänsyn till kan segmenteringsmetoden leda till konflikter. En konflikt som kan uppstå är i fallet med stomstabilisering via skivverkan som är det vanligaste stomstabiliseringssystemet i Sverige. Problemet som uppstår är att vid segmentering behövs färre infästningar mellan takplåt och sekundärbalk, vilket leder till att takplåten inte i full utsträckning kan verka som en skiva. Detta är dock en konflikt som är väldigt svår att kvantifiera i en så övergripande analys som utförts i denna rapport.

Segmentering är en metod som inte är speciellt etablerad i Sverige och detta innebär att det inte finns någon etablerad metodik och tradition för hur det ska genomföras. Ett problem som uppstår då kan vara att lära konstruktörerna att begränsa bärförmågan, alltså att ha kontroll på att till exempel ett förband är tillräckligt svagt.

Ytterligare en parameter som påverkar segmenteringsgraden är hur takbalkarna är utformade. De kan vara utformade på det sättet som i tillämpningsexemplet eller att balkarna har betydligt längre spännvidder. Kortare spännvidder innebär att svaga förband kan vara en lämplig metod. Vid längre spännvidder kanske gångjärnsprincipen kan vara att föredra eftersom att det då går att lägga segmentgränser mellan knutpunkterna.

Ett sätt att undvika konflikten mellan segmentering och stomstabilisering via skivverkan är att använda ett stomstabiliseringssystem. Ett möjligt alternativ är att istället välja vindstag som stabilisering i taket, alltså stabilisering med hjälp av fackverk. Ute i Europa dominerar tvåledsramar som stomstabiliseringssystem (Höglund, 2012). Detta är en metod som skulle kunna användas som stomstabiliseringssystem även i Sverige. Dock innebär tvåledsramar andra problem. Problem som kan uppstå om tvåledsram väljs istället för skivverkan är att det ofta blir höga moment där pelarna fästs in i grunden. Eftersom det blir högre moment blir infästningen mellan pelare och grunden mer komplicerad att utforma samt att pelardimensionen blir större.

Det kan kanske vara lämpligt att regelverken tillåter en kollaps förutsatt att segmentering har använts eftersom att det då går att förutse hur stor en eventuell kollaps blir. Detta skulle kunna leda till att en kollaps är tillåten vid dimensionering enligt lokal brand så länge kollapsen är begränsad och kan förutses. Jämförelse kan göras med figur 1.1 i denna rapport (figur C.2 i EKS 8 (Boverket, 2011b)) där en kollaps tillåts som inte överstiger det maximala skadeområdet. Med segmentering skulle ett sådant skadeområde vara lättare att förutse.

För att underlätta dimensionering enligt lokal brand har det i rapporten gjorts en inledande studie för att försöka kvantifiera sannolikheten för övertändning med hjälp av sannolikhetsfördelningar över effektutvecklingar. Studien bygger på MSB:s statistik och antaganden gjorda av författarna till denna rapport. Studiens ingångsdata, tillämpning samt styrkor och svagheter diskuteras nedan.

7.2 Ingångsdata

Ingångsdata, statistiken hämtad från MSB, har inte den detaljrikedom som kan önskas för att göra en precis och kvantitativ fördelning av inträffade bränder och dess omfattning. Detta försvårar en kvantitativ analys av vilka effektutvecklingar en brand gav upphov till. Då statistiken inte angav effektutvecklingar fick metoden med brandskadeområden och effektutveckling per kvadratmeter användas, men inte heller brandskadeområdets area är angivet i IDA. Kategoriseringen av areor av de utrymmen där branden startat och eventuellt spridit sig till är därför till stor del uppbyggd på uppskattningar utifrån den information som ges av statistiken.

Ett sätt att kunna göra en ännu noggrannare fördelning av de omfattningar en brand gett upphov till hade varit att följa upp insatsrapporterna för bränderna och prata med personer som varit involverade i insatsen. På så sätt hade bättre uppskattningar kunnat göras av framförallt brandskadeområden men på grund av omfattningen på denna rapport finns inte tillräckliga resurser för att göra detta. Bränder begränsade till startföremål är lättare att kategorisera då det finns en del tillgänglig litteratur som anger storlek på föremål och effektutveckling för dessa om de börjar brinna. Det hade varit önskvärt att kunna tillämpa detta tillvägagångssätt för alla totala omfattningskategorier.

Ytterligare en parameter som påverkar resultaten är att kategoriseringen av de uppskattade areorna görs utifrån brandens totala omfattning. Det framgår inte av ingångsdata hur länge branden pågått. Relevant tidsperspektiv vid dimensionering av Br2-byggnader är 30 minuter. Om bränderna pågått längre än så innebär det att de uppskattade areorna blir för stora och detta leder till att brandskadeområde och effektutvecklingar blir för höga utifrån tidsperspektivet.

7.3 Brandskadeområden

Areor för startutrymmen samt utrymmen dit branden spridit sig uppskattats för att kunna beräkna ett brandskadeområde. Dessa areor utgör en osäkerhet, eftersom att de uppskattade areorna kan vara antingen för små eller för stora. Dessa osäkerheter finns därför genomgående i rapporten eftersom att de används vid beräkningen av brandskadeområden som sedan används för att ta fram effektutvecklingar. Den ekvation som använts vid beräkning av brandskadeområdena utgör även den en osäkerhet. Detta på grund av att ekvationen är framtagen för brittiska byggnader som är osprinklade.

Det som kan ifrågasättas är om ekvationen ger rätt brandskadeområde då den används tillsammans med den svenska statistiken. Den parameter i ekvationen som påverkar resultaten mest är β . Detta innebär att om β är felaktigt påverkas brandskadeområdet i stor utsträckning. Om β ökar blir brandskadeområdena större vilket genererar högre effektutvecklingar, detta gäller för samtliga tre byggnadskategorier. Dock anses ekvationen vara tillämpbar med den svenska statistiken och på så sätt anses brandskadeområdena vara rimliga.

Om en annan metod för framtagande av brandskadeområde återfinns är det möjligt att tillämpa denna metod så länge brandskadeområden kan beräknas, eftersom det är brandskadeområdena som utgör grunden i metoden.

I tabell 7.1 presenteras förväntat värde och 99,5-percentilen för de brandskadeområden som erhållits i rapporten. Brandskadeområdena som tagits fram i rapporten förefaller vara rimliga vid jämförelse med den litteratur som finns att tillgå inom området. De brandskadeområden som Holborn et al. (2004) tagit fram är dock större än de som tagits fram i denna rapport.

Den förmodligen största anledningen är att brandutredare enbart följer med på larm som involverar fyra eller fler brandfordon eller bränder då personer rapporterat vara kvar i byggnaden. Det kan också röra sig om bränder då räddningsledaren begärt ut brandutredarna på eget initiativ (Holborn et al., 2004). Totalt medverkar brandutredarna vid cirka 25 % av de bränder som Londons räddningstjänst rycker ut till varje år (Holborn et al., 2004). Då brandutredarna inte följer med på alla bränder utan på större och allvarligare bränder blir de rapporter de lämnar påverkade av detta. Större och allvarligare bränder ger större brandskadeområden. Många av de mindre bränderna, som utgör majoriteten i den svenska statistiken, fångas då inte upp av de brittiska brandutredarna från vilka Holborn et al. (2004) hämtat sina data. Antalet bränder är också färre än de som analyserats i denna rapport. Det kan även vara så att Holborn et al. (2004) inte definierar brandskadeområde på samma sätt som det avses i ekvationen från Rasbash et al. (2004). Holborn et al. (2004) jämför brandskadeområde med själva brandens storlek vilket borde ligga nära den tolkning av brandskadeområde som används i Rasbash et al. (2004). Därför borde detta inte vara någon förklaring till skillnaderna i brandskadeområde.

Brandskadeområden för *Industri - Lager* blir mycket större än för de andra byggnadskategorierna. Detta beror till stor del på de stora golvareor som lager ofta utgör. En brand som genererar ett stort brandskadeområde gör att fördelningen skjuvas mot större brandskadeområden. I *Industri - Lager* är det en majoritet små bränder men det finns även några få bränder som gett upphov till stora brandskadeområden och därför blir 99,5-percentilen stor. Det kan även vara så ekvationen som används för att

beräkna brandskadeområdet inte lämpar sig för lager på grund av de stora öppna ytor som lager ofta utgör.

Brandskadeområdena för *Allmän byggnad - Handel* och *Allmän byggnad - Idrottsanläggning* anses vara rimliga men dock något låga om jämförelse görs med Holborn et al. (2004).

Tabell 7.1 – Förväntat värde och 99,5-percentiler för brandskadeområde i respektive byggnadskategori

Byggnadskategori	Förväntat värde [m ²]	99,5-percentil [m ²]
Allmän byggnad - Handel	6	49
Allmän byggnad - Idrottsanläggning	8	49
Industri - Lager	51	562

7.4 Effektutvecklingar per kvadratmeter

Storleken på de effektutvecklingar per kvadratmeter som appliceras på brandskadeområdet påverkar i stor grad den totala effektutvecklingen. Om en hög effektutveckling per kvadratmeter används blir den totala effektutvecklingen hög och vice versa. Därför är det väldigt viktigt att använda en effektutveckling per kvadratmeter som är representativ för den byggnad som dimensioneras, annars finns det en risk att 99,5-percentilen är för hög eller för låg. Problemet med att hitta en korrekt effektutveckling per kvadratmeter har diskuterats i avsnitt 4.3.

Som nämnts tidigare är det bilaga E i Eurokod SS-EN 1991-1-2 som används som utgångspunkt. Detta för att visa på hur metoden är tänkt att tillämpas. För startföremålen är värdena som har använts hämtade från Särdaqvist (1993) och de är framtagna i laboratoriemiljö. Om effektutvecklingarna räknas om till effektutveckling per kvadratmeter blir dessa högre än de värden som anges i exempelvis Eurokod SS-EN 1991-1-2. Detta beror på att föremålen får brinna fritt medan värdena i Eurokod SS-EN 1991-1-2 ska gälla för en verksamhet i stort.

7.5 Fördelningar av effektutvecklingar

Rimligheten för effektutvecklingarna i 99,5-percentilen har diskuterats i kapitel 6.4.4. Rimlighetskontrollen bestod av ventilationsberäkningar för att kontrollera om effektutvecklingarna är möjliga samt jämförelse med värden från litteratur. Det som kontrollen resulterade i var att effektutvecklingarna i *Allmän byggnad - Handel* och *Allmän byggnad - Idrottsanläggning* är fullt rimliga. För *Industri - Lager* är effektutvecklingen som tagits fram mycket hög. Att använda en dimensionerande brand som ger en effektutveckling jämförbar med en kärnkraftsreaktor är inte realistiskt. Det är inte realistiskt då det krävs en väldigt stor öppningsarea samt mycket brännbart material. Det som bör göras istället är att kontrollera det brandskadeområde som beräknats samt den effektutveckling per kvadratmeter som bör användas för den aktuella lagerbyggnaden. Dessa värden tillsammans är inte rimliga och som nämnts tidigare kan det vara så att ekvationen som används för att beräkna brandskadeområdet inte är tillämpbar vid stora golvytor och då det blir många öppna ytor. Metoden som tagits fram i denna rapport verkar inte vara tillämplig för lager.

Om de brandskadeområden som Holborn et al. (2004) tagit fram tillämpats på det sätt som metoden i denna rapport tillämpas, hade effektutvecklingarna i 99,5-percentilen blivit mycket högre än resultaten i rapporten. För lagerbyggnader i Holborn et al. (2004)

hade effektutvecklingarna i 99,5-percentilen blivit över 4000 MW för 1000 kW/m² vilket är helt orimligt eftersom det är högre än det resultat som anses vara orimligt i denna rapport.

För handel hade 99,5-percentilen blivit 67 MW om effektutvecklingen 250 kW/m² använts. Detta är i sig inte ett orimligt värde men då underlaget som Holborn et al. (2004) använder sig av i viss utsträckning innehåller stora bränder skjuvas deras fördelning åt större värden vilket innebär att värdena i 99,5-percentilen blir högre än de i denna rapport. Eftersom att underlaget som använts i denna rapport till största del innehåller mindre och begränsade bränder blir inte 99,5-percentilen skjuvad åt högre värden på samma sätt.

Byggnadskategorin *Industri - Lager* är kanske inte relevant utifrån denna rapportens omfattning. Om lagerbyggnaden enbart används för lagring med få människor som rör sig där kommer byggnaden inte klassas som en Br2-byggnad utan snarare en Br3-byggnad med verksamhetsklass 1 (Boverket, 2011a). De resultat som har tagits fram för *Industri - Lager* är därmed inte fullt relevanta utifrån rapportens avgränsningar där det är Br2-byggnader som avses undersökas. En anledning till att de inte är relevanta är att de brandtekniska kraven i en Br3-byggnad inte är lika höga som i en Br2-byggnad.

7.6 Tekniska system

EKS 8 (Boverket, 2011b) anger att dimensionering enligt lokal brand kan göras om sannolikheten för övertändning är mindre än 0,5 % för Br2-byggnader. Exempel på hur detta kan visas är med minst två oberoende tekniska system eller att visa att övertändning inte kan inträffa med hänsyn till låg brandbelastning (Boverket, 2011b). Detta innebär att tekniska system i form av till exempel sprinkler skulle kunna appliceras på den effektutveckling i 99,5-percentilen som fått fram för att visa att sannolikheten för övertändning i Br2-byggnader inte överstiger 0,5 % för den effektutvecklingen om tekniska system används. Dock har det inte funnits några uppgifter i den statistik från MSB som använts på huruvida branden i fråga varit sprinklad. Detta innebär att resultaten innehåller effektutvecklingar som skulle kunna vara begränsade av sprinkler. De effektutvecklingar som tagits fram kan därför vara för små och att applicera sprinkler på "en redan sprinklad brand" kan ge för låga värden på den resulterande effektutvecklingen.

Sprinklerfrämjandet har kontaktats för att få information angående hur stor del av Br2-byggnaderna i Sverige som är sprinklade. Sådan information hade kunnat utgöra underlag för att ta reda på hur stor andel av de inträffade bränderna som statistiskt sett begränsats av sprinkler och därmed borde uteslutits ur rapporten. Någon sådan information finns tyvärr inte att tillgå.

Enligt Hall (2010) så är bränder i ganska stor utsträckning för små för att aktivera ett eventuellt sprinklersystem. I 44 till 87 % av rapporterade bränder i USA var branden för liten för att sprinklersystemet skulle aktivera (Hall, 2010). Nedan framgår i hur stor andel av rapporterade bränder i vissa verksamheter som det funnits sprinklersystem installerade (Hall, 2012):

- "Stores and Offices" - 23 %
- "Warehouses Excluding Cold Storage" - 33 %

För "Stores and Offices" var bränderna för små för att aktivera sprinkler i 64 % av fallen (Hall, 2010). Kombinerat med att sprinkler var närvarande vid 23 % av bränderna ger detta en sannolikhet för att enbart cirka 8 % av bränderna faktiskt påverkats av sprinkler. För "Warehouses Excluding Cold Storage" var bränderna för små för att aktivera sprinkler i 43 % av fallen (Hall, 2010). Detta ger en sannolikhet för att en brand faktiskt påverkats av sprinkler på cirka 19 %.

Dessa uppgifter tyder på att även om det finns sprinkler installerade så blir branden i många fall aldrig tillräckligt stor för att aktivera ett sprinklersystem. Dessutom är sprinkler installerade vid långt från alla bränder som rapporterats i USA. Om sprinkleranvändandet i Sverige kan jämföras med USA kan slutsatsen dras att sprinkler faktiskt påverkar de bränder som analyserats i ganska låg utsträckning men att ytterligare undersökning kring hur många bränder i tillämpbara Br2-byggnader som varit sprinklade kan bidra till att ytterligare förfinas den framtagna metoden. Att tillämpa den framtagna metoden tillsammans med tekniska system ska alltså inte göras utan att denna osäkerhet utretts vidare.

7.7 Brandbekämpande åtgärder

I Holborn et al. (2004) har det undersökts hur brandskadeområdet påverkas om det görs en första brandbekämpande åtgärd av personer i byggnaden eller inte samt hur automatiskt brandlarm påverkar brandskadeområdet. Det de kom fram till var att om personerna inte gjorde någon brandbekämpande åtgärd blev brandskadeområdet 89 m² och om de gjorde en brandbekämpande åtgärd minskade brandskadeområdet till 30 m². Dessa värden är för samtliga undersökta verksamheter samt avser värdet i 95-percentilen (Holborn et al., 2004). Detta visar att det har en avsevärd betydelse på brandskadeområdet, och i sin tur effektutvecklingen, om personerna i byggnaden gör en första insats mot branden. Brandbekämpning av personer i byggnaden kan alltså vara en anledning till att många bränder begränsas till små utrymmen. Om det finns automatiska brandlarm eller ej påverkar även det brandskadeområdet och effektutvecklingen.

Det är utifrån tillgänglig data omöjligt att avgöra i hur stor andel av bränderna automatiskt brandlarm förekommit samt i vilken utsträckning personer har gjort en första insats mot branden. Det som detta kan leda till är att brandskadeområdena som beräknas är för små och detta resulterar i att effektutvecklingarna i 99,5-percentilen blir för låga. Brandförlopp och brandens effektutveckling kan alltså te sig annorlunda beroende på hur de organisatoriska och verksamhetsmässiga faktorerna påverkar branden i enskilda byggnader.

7.8 Bränder som uteslutits ur analysen

Resultaten kan påverkas av att bränder i omfattningskategorin "okänd", startföremålen "okänd" och "annat" samt att icke tillämpbara startutrymmena uteslutits från statistiken. Då det inte går att kategorisera sådana bränder är det ett val som gjorts att inte analysera dessa bränder för att på ett så bra sätt som möjligt ta fram fördelningar över brandskadeområden och sedermera effektutvecklingar för de bränder som faktiskt är möjliga att kvantifiera.

I tabell 7.2 redovisas hur många procent av alla bränder som använts i rapporten. Som synes är det en betydande andel bränder som har uteslutits ur analysen. Trots att det är en betydande andel har dessa uteslutits för att det är omöjligt att säga något om hur de bränder som uteslutits ur statistiken fördelar sig. Det hade varit önskvärt att kunna

kvantifiera dessa bränder med avseende på omfattning. Om omfattningen för alla bränderna hade varit stor hade detta påverkat resultaten och gett större brandskadeområden och effektutvecklingar. Likaså hade små bränder gett lägre värden för resultaten. Utifrån det som angivits i tidigare i rapporten, i avsnitt 5.1.1, där en diskussion förts kring hur bränderna påverkar, finns det en figur, figur 5.3, som visar på att principen över fördelningen är den samma även när de startföremål och startutrymmen som inte analyseras plockats bort. Detta tyder på att de bränder som uteslutits från analysen fördelar sig på i princip samma sätt som de som analyserats. Eftersom att de bränder som uteslutits förmodligen fördelar sig på samma vis som de som analyserats anses urvalet som har använts vara representativt.

Tabell 7.2 - Andel bränder som använts i rapporten

	Allmän byggnad - Handel [%]	Allmän byggnad - Idrottsanläggning [%]	Industri - Lager [%]
Andel bränder som använts	69	53	55

Statistiken visar att en majoritet av bränderna begränsas till små omfattningar. Varför detta är fallet framgår inte av statistiken. Anledningarna till att bränderna begränsas kan vara många. I byggnadskategorin *Allmän byggnad - Handel* rör det sig ofta mycket folk vilket kan innebära en tidig upptäckt av en brand. I lagerlokaler rör det sig oftast mindre folk vilket innebär att tiden tills dess att branden upptäcks är längre vilket kan innebära att branden kan tillväxa och ge större brandskadeområden och effektutvecklingar. Även organisatoriska faktorer kan påverka hur snabbt och i vilken utsträckning bränderna begränsas. Om personalen i byggnaden fått utbildning i eller om de vet hur man gör en första insats mot en brand kan detta innebära att bränder begränsas i ett tidigt skede.

7.9 Styrkor

Den främsta styrkan med metoden är att inget liknande har gjorts för svensk statistik förut. Resultaten som har tagits fram visar en representativ bild över hur brandskadeområden i Sverige fördelas och hur detta kan användas för att dimensionera enligt lokal brand. Då det i EKS 8 (Boverket, 2011a) inte finns angivet hur sannolikheten för övertändning ska tas fram kan den metod som utvecklats i denna rapport vara ett förslag på hur en effektutveckling i 99,5-percentilen tas fram och hur denna kan användas som ett steg på vägen för att avgöra sannolikheten för övertändning. Ytterligare styrkor är att metoden i högsta möjliga mån har baserats på relevant och objektiv litteratur som finns tillgänglig inom ämnet. Då det tillvägagångssätt som använts i denna rapport inte har använts innan finns det inte tillräcklig information kring framtagandet av metoden och då har uppskattningar och antaganden gjorts.

7.10 Svagheter

Då det inte gjorts speciellt mycket på detta område saknas viss önskvärd information som kunnat förfinas metoden. En av de största svagheter med metoden är att det inte finns någon samlad kvantitativ information över brändernas omfattning och effektutvecklingar samt storlekar på de byggnader och utrymmen där bränderna utbrutit. Ytterligare en svaghet är att de brandskadeområden som tagits fram kan innehålla sprinklade byggnader, vilket då ger lägre effektutvecklingar. Om tekniska system är tänkta att appliceras på effektutvecklingarna kan sprinklern redan ha påverkat brandskadeområdena och effektutvecklingarna och gett ett lägre värde på dessa. Detta innebär alltså att sprinklern redan har tagits hänsyn till och präglat resultaten. Önskvärt

hade varit att kunna få reda på hur stor andel av bränderna i statistiken som begränsats av sprinkler för att kunna ta hänsyn till detta i metoden.

Ekvation 4.1 har använts för att ta hänsyn till att allt i ett utrymme inte momentant bidrar till effektutvecklingen vid en brand. Ekvationen användes för att ingen bättre data var tillgänglig och detta utgör en svaghet vilken diskuterats i 4.2.

Den framtagna metoden är enbart en inledande studie men metoden är allmän och kan tillämpas så länge brandskadeområden och effektutvecklingar anpassas från fall till fall. Metoden är tänkt att tillämpas genom att beräkna effektutvecklingen i 99,5-percentilen och att denna effektutveckling ska sättas in i aktuell byggnad och kontrolleras. Detta innebär att byggnadens utformning måste beaktas tillsammans med effektutvecklingen för att avgöra om övertändning inträffar eller ej.

Resultaten som tagits fram utifrån metoden i denna rapport ska inte användas för dimensionering av enskilda byggnader eftersom resultaten enbart tagits fram för att visa principen för hur metoden är tänkt att tillämpas.

Något liknande tillvägagångssätt har aldrig tillämpats på svensk statistik förut och för att resonemangen kring kollapsen vid lokal brand ska kunna föras måste sannolikheten för övertändning kunna påvisas. Detta kan göras med hjälp av den metod som tagits fram i denna rapport. En ökad kunskap om hur robusthet kan användas vid brandfallet tillsammans med en metod för hur sannolikhet för övertändning beräknas skulle kunna utgöra vägar framåt för att kunna göra nyanserade bedömningar av skadeområden vid dimensionering för lokal brand.

Den metod som har utvecklats samt de resultat som tagits fram är tänkta att framförallt väcka intresse kring hur en konstruktion i helhet påverkas av en lokal brand samt hur det kan avgöras huruvida dimensionering för lokal brand får göras. En robust utformad byggnad kan minska riskerna för person- och egendomsskador vid dimensionering enligt lokal brand och en sådan inbyggd egenskap är därför viktig att belysa.

8 Vidare forskning

I följande kapitel redovisas områden där författarna till denna rapport identifierat att ytterligare forskning bör genomföras.

Under arbetets gång har ett flertal områden identifierats där informationen som funnits att tillgå antingen varit knapphändig eller rentav obefintlig. Områden där djupare forskning bör göras för att ytterligare stärka resultaten i denna rapport har också identifierats.

8.1 Maximal effektutveckling

Vid framtagandet av metoden för brandskadeområdena upplevde författarna till denna rapport att mer information hade varit önskvärd för att stärka metoden. Områdena där mer information önskas listas nedan:

- Mer kvantitativ information i MSB:s statistik i form av byggnadsareor och ungefärlig procentuell skada av total byggnadsarea vid en brand. Detta hade avsevärt underlättat framtagandet av fördelningarna för brandskadeområden.
- Samlad information kring Sveriges byggnadsbestånd. Det finns en hel del uppgifter för bostäder men desto mindre för andra byggnadstyper. Med hjälp av mer detaljerad information på detta område hade en uppskattning kring hur stor del av byggnadsbeståndet som utgörs av Br2-byggnader kunnat göras.
- En studie av svenska byggnader för att kunna ta fram en ekvation liknande ekvation 4.1 och på så sätt kunna avgöra ett troligt brandskadeområde.
- Vidare forskning kring andelen sprinklade Br2-byggnader i Sverige för att kunna kvantifiera hur sprinklade bränder påverkar de resultat som tagits fram.
- Forskning kring vilka effektutvecklingar per kvadratmeter som kan vara lämpliga att använda tillsammans med metoden som tagits fram i rapporten. Eftersom effektutvecklingarna per kvadratmeter i stor utsträckning påverkar resultaten är det viktigt att representativa effektutvecklingar per kvadratmeter används.
- Framtagande av effektutvecklingar för typutrymmen liknande de som Särdaqvist (1993) tagit fram för enskilda föremål.

8.2 Robusthet

Vid den globala analysen av hur en konstruktion påverkas till följd av en lokal brand och vid informationsinsamlingen kring robusthet identifierades ett flertal områden där ytterligare forskning kan genomföras:

- Ta fram ett sätt för att kvantifiera graden av robusthet i en konstruktion.
- Kvantifiera hur skivverkan påverkas då robusthet ska uppnås via segmentering.
- Ta fram en enad definition kring begreppen robusthet och progressiv kollaps så att forskningen enas och underlättas.
- Kvantifiera nyttan av en robust konstruktion. En kostnad-nytta-analys skulle kunna genomföras för att ta reda på om det är ekonomiskt försvarbart att beakta robusthet vid dimensionering av byggnader, inte bara i brandfallet.
- Vidare forskning kring hur robusthet kan lyftas fram. Robusthet är en egenskap som faktiskt kan förhindra personskador och materiella skador.

9 Slutsats

I följande kapitel dras slutsatser genom att rapportens frågeställningar besvaras.

Frågeställningarna utgörs av två primära och generella frågeställningar med tillhörande sekundära frågeställningar. Dessa frågeställningar besvaras nedan och svaren utgör slutsatserna som kan dras utifrån rapportens resultat.

Hur kan det avgöras när dimensionering enligt lokal brand kan användas för Br2-byggnader enligt EKS 8?

Dimensionering enligt lokal brand får göras om kraven i det allmänna rådet i Boverket (2011b) uppfylls. Kravet är att sannolikheten för övertändning ska vara mindre än 0,5 % för att dimensionering enligt lokal brand ska få göras. Effektutvecklingen i en brand är en av de parametrar som påverkar sannolikheten för övertändning i störst utsträckning.

De framtagna fördelningarna över effektutvecklingar för inträffade bränder kan utgöra ett underlag för att avgöra sannolikheten för övertändning och därmed även om lokal brand får användas som dimensioneringsmetod eller ej.

Hur kan sannolikheten för övertändning avgöras i Br2-byggnader?

Genom att ta fram vilka effektutvecklingar som kan uppstå i en Br2-byggnad kan dessa effektutvecklingar utgöra grunden för att avgöra sannolikheten för övertändning. Den i rapporten framtagna metoden syftar till att ta fram fördelningar över effektutvecklingar för inträffade bränder i Sverige. Med hjälp av metoden kan effektutvecklingarna i 99,5-percentilerna tas fram. Dessa effektutvecklingar tillsammans med byggnadsspecifika parametrar kan användas för att avgöra sannolikheten vid övertändning i en Br2-byggnad. De framtagna resultaten är enbart resultat av en inledande studie och får ej användas för dimensionering.

Hur ska effektutvecklingar användas för att avgöra sannolikheten för övertändning i Br2-byggnader?

På det sätt som effektutvecklingarna tagits fram i rapporten ska dessa utgöra grunden för sannolikhetsbedömningen gällande övertändning. Om det går att visa att effektutvecklingen i 99,5-percentilen inte leder till övertändning i en byggnad så har det med 99,5 % säkerhet visats att övertändning inte inträffar. Effektutvecklingen måste dock beaktas tillsammans med byggnadsspecifika parametrar och eventuella tekniska system.

De värden på effektutvecklingar som tagits fram i denna rapport är enbart värden som tagits fram för att exemplifiera hur metoden är tänkt att tillämpas. Värdena får alltså inte användas för dimensionering eftersom grova antagande behövs göras för exempelvis effektutvecklingar per kvadratmeter. Metoden i sig är tillämplig men värden för effektutveckling per kvadratmeter måste tas fram för respektive byggnad.

På vilket sätt kan brandtekniska system vägas in då sannolikheten för övertändning beräknas?

Tekniska system kan begränsa de effektutvecklingar som tagits fram i rapporten och därmed minska risken för övertändning. I EKS 8 (Boverket, 2011b) står det att tekniska system får användas för att visa sannolikheten för övertändning. Tekniska system kan alltså appliceras på effektutvecklingar som kan tas fram med hjälp av metoden som

utvecklats i denna rapport. Genom att även beakta byggnadsspecifika parametrar kan en samlad bedömning göras angående risken för övertändning.

Det finns däremot vidare forskningsbehov kring huruvida sprinkler kan appliceras på de effektutvecklingar som tagits fram i rapporten.

Hur ska en konstruktion utformas för, att ur ett robusthetsperspektiv, klara av att en bärverksdel kollapsar till följd av lokal brand utan att fortskridande kollaps inträffar?

För den byggnad som analyserats i tillämpningsexemplet i denna rapport är segmentering den mest lämpliga metoden ur ett brandperspektiv, eftersom det kollapsade området är känt eftersom att en eventuell kollaps sker vid segmenteringsgränserna. Det område som tillåts kollapsa kan göras olika stort beroende på var segmentgränserna placeras och detta innebär att denna metod kan användas för att göra bedömning av skadeområde enligt figur 1.1, det maximala skadeområdet som tillåts uppstå om ett konstruktionselement ska tilldelas brandsäkerhetsklass 1.

Vad innebär en robust konstruktion och hur kan en sådan utformas?

En robust konstruktion är en konstruktion i vilken en progressiv kollaps ej uppstår till följd av en lokal skada. Robusthet kan uppnås med olika metoder beroende på vilken byggnad eller konstruktionssystem som avses. De två huvudsakliga metoderna som kan användas för att öka robustheten i en konstruktion är alternativa lastvägar och segmentering.

10 Litteraturförteckning

- ASCE. (2002). *ASCE 7-02 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston: American Society of Civil Engineers - ASCE.
- Babrauskas, V. (1980). Estimating Room Flashover Potential. *Fire Technology*, 16 (2), ss. 94-103.
- Bennetts, I. D., Poh, K. W., Poon, S. L., Thomas, I. R., Lee, A. C., Beever, P. F., o.a. (1998). *Fire Safety in Shopping Centres: Final research report - Project 6*. Australien: Fire Code Reform Centre.
- Bishop, S. R., & Drysdale, D. D. (1998). Fires in Compartments: The Phenomenon of Flashover. *Philosophical Transactions of The Royal Society: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 356 (1748), ss. 2855-2872.
- Björkstäd, L.-O. (2012). *Single storey steel building exposed to fire: An integrated approach for analytical evaluation of steel structures exposed to fire*. Luleå: Luleå University of Technology.
- Boverket. (2011a). *Boverkets byggregler, BBR: BBR 19, BFS 2011:26*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2011b). *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder): EKS 8, BFS 2011:10*. Karlskrona: Boverket.
- Buchanan, A. H. (2001). *Structural design for fire safety*. Chichester: Wiley.
- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper (2 uppl.)*. Lund: Studentlitteratur.
- Canisius, T., Sørensen, J., & Baker, J. (2007). Robustness of structural systems – a new focus for the Joint. i Kanda, Takada, & Furuta, *Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*. London: Taylor & Francis Group, London.
- Canisius, T. (2011). *COST TU0601 - Structural Robustness Design for Practising Engineers*. Bryssel: European Cooperation in Science and Technology - COST.
- CIBSE. (2003). *CIBSE Guide E: Fire engineering (2 uppl.)*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Department of Building and Housing. (2012). *Technical investigation into the collapse of the Stadium Southland roof*. Wellington: Department of Building and Housing.
- Drysdale, D. (1998). *An introduction to fire dynamics (2 uppl.)*. Chichester: Wiley.
- Energimyndigheten. (2010). *Energianvändning i handelslokaler*. Esiklstuna: Statens energimyndighet .

- Energimyndigheten. (2009). *Energianvändning i idrottsanläggningar*. Eskilstuna: Statens energimyndighet .
- Fang, C., Izzuddin, B., Elghazouli, A., & Nethercot, D. (2011). Robustness of steel-composite building structures subject to localised fire. *Fire Safety Journal*, 46 (6), ss. 348-363.
- Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A., & Thelandersson, S. (2007). *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?* Lund: Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH.
- Haberland, M., & Starossek, U. (2009). Progressive collapse nomenclature. *Proceedings of the 2009 Structures Congress - Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role* (ss. 1886-1895). Austin: American Society of Civil Engineers - ASCE.
- Hall, J. R. (2012). U.S experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment. Quincy: National Fire Protection Association.
- Hall, J. R. (2010). U.S experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment. Quincy: National Fire Protection Association.
- Holborn, P. G., Nolan, P. F., & Golt, J. (2004). An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations. *Fire Safety Journal*, 39 (6), ss. 481-524.
- Holborn, P. G., Nolan, P. F., Golt, J., & Townsend, N. (2002). Fires in workplace premises: risk data. *Fire Safety Journal*, 37 (3), ss. 303-327.
- Hägg, A., Lindqvist A. (2007). *Finita elementanalys av en brandutsatt fackverksbalk i stål*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Höglund, T. (2012). Stabilisering genom skivverkan. *Nyheter om stålbyggnad* (2), ss. 32-34.
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur.
- Ioniță, O.-M., Romînu, S., Țăranu, N., Băncilă, R., & Banu, C. (2008). Understanding Failures, an Useful Tool in Structural Robustness Evaluation. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Constructions, Architecture Section*, 54 (1), ss. 21-34.
- Isaksson, T., & Mårtensson, A. (2010). *Byggkonstruktion: Regel- och formelsamling: Baserad på Eurokod* (2 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Isaksson, T., Mårtensson, A., & Thelandersson, S. (2010a). *Byggkonstruktion II: Eurokod* (1 uppl.). Lund: Konstruktionsteknik, LTH.
- Isaksson, T., Mårtensson, A., & Thelandersson, S. (2010b). *Byggkonstruktion I: Eurokod* (1 uppl.). Lund: Konstruktionsteknik LTH.

- Järphag, T. (2013). *Nybyggnad av logistikcenter - Terminal DB Schenker, Arendal 764:291 i Göteborgs kommun*. NCC Construction Sverige AB.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton: CRC Press.
- Kim, H-J., & Lilley, D.G. (2002). Flashover: A Study of Parameter Effectson Time to Reach Flashover Conditions. *Journal of Propulsion and Power*, 18 (3), ss. 669-673.
- Knoll, F., & Vogel, T. (2009). *Design for Robustness*. International Association for Bridge and Structural Engineering - IABSE.
- Knutsson, H. (u.d.). *Bärande stomme och stabilisering*. Hämtat från Stålbyggnadsinstitutet:
http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=3&kId=71&subKId=0&mgrp=0&dId=21 den 23/4 - 2013
- Körner, S. (2010). *Tabeller och formler för statistiska beräkningar* (2 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Körner, S., & Wahlgren, L. (2009). *Praktisk statistik* (3 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Körner, S., & Wahlgren, L. (2010). *Statistisk Dataanalys* (4 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Liu, J. (2010). Preventing progressive collapse through strengthening beam-to-column connection, Part 1: Theoretical analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 66 (2), ss. 229-237.
- Matematisk statistik, LTH. (2010). *Lognormalfördelningen och Gumbelfördelningen: Matematisk statistik för V och L*. Lund: Matematisk statistik.
- Nair, R. S. (2004). Progressive Collapse Basics: A rational look at today's building codes, with an eye on blast-resistant design. *North American Steel Construction Conference - NASCC*. Long Beach: Modern Steel Construction.
- NFPA. (2000). *NFPA 92B - Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy: National Fire Protection Association.
- Nyström, M., & Rönnebjerg, D. (2009). *Robusthetsanalys av byggnader med lång spännvidd*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- OKG. (den 10/2 - 2013). *OKGs tre reaktorer*. Hämtat från OKG:
<http://www.okg.se/sv/Om-OKG/Anlaggningar/> den 23/4 - 2013
- Rasbash, D., Ramachandran, G., Kandola, B., Watts, J., & Law, M. (2004). *Evaluation of Fire Safety*. Hoboken: Wiley.

- Rychlik, I., & Rydén, J. (2006). *Probability and Risk Analysis: An Introduction for Engineers*. Berlin: Springer.
- SIS. (2010a). *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. Stockholm: SIS.
- SIS. (2010b). *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering*. Stockholm: SIS.
- SIS. (2007). *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-2: Allmänna laster - Termisk och mekanisk verkan av brand*. Stockholm: SIS.
- SIS. (2006). *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-7: Allmänna laster - Olyckslast*. Stockholm: SIS.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.
- Starossek, U. (2007a). Typology of progressive collapse. *Engineering Structures*, 29 (9), ss. 2302–2307.
- Starossek, U. (2007b). Disproportionate collapse: a pragmatic approach. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 160 (6), ss. 317-325.
- Starossek, U. (2006). Progressive Collapse of Structures: Nomenclature and Procedures. *Structural Engineering International*, 16 (2), ss. 113-117.
- Starossek, U., & Haberland, M. (2008). Approaches to measures of structural robustness. *IABMAS'08, 4th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*. Seoul: IABMAS.
- Starossek, U., & Haberland, M. (2010). Disproportionate Collapse: Terminology and Procedures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24 (6), ss. 519-528.
- Starossek, U., & Haberland, M. (2012). Robustness of structures. *International Journal of Lifecycle Performance Engineering*, 1 (1), ss. 3-21.
- Starossek, U., & Wolff, M. (2005). Progressive Collapse: Design Strategies. *IABSE Symposium: Structures and Extreme Events* (ss. 9-16). Lissabon: International Association for Bridge and Structural Engineering.
- Stålbyggnadsinstitutet. (2008). *Byggsystemsbeskrivningar och Fallstudier för Industribyggnader - En Guide för Arkitekter, Konstruktörer och Entreprenörer*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.
- Sun, R., Huang, Z., & Burgess, I. W. (2012). Progressive collapse analysis of steel structures under fire conditions. *Engineering Structures*, 34 (-), ss. 400-413.

Sykora, M., Holický, M., & Markova, J. (2011). Robustness: Key property of modern structures. *Safety and Security Engineering IV: WIT Transactions on the Built Environment*, 117 (-), ss. 289-300.

Särdqvist, S. (1993). *Initial fires: RHR, smoke production and CO generation from single items and room fire tests*. Lund: Department of Fire Safety Engineering.

Sørensen, J. D. (u.d). *Robustness of Structures - Theoretical framework on structural robustness*. European Cooperation in Science and Technology - COST.

Bilaga A

I följande bilaga redovisas brandens totala omfattning med tillhörande startutrymme och antalet bränder för respektive byggnadskategori. Alla omfattningskategorier och startutrymmen samt startföremål är med, alltså obehandlad ursprungsdata.

	Lager		Handel		Idrottsanläggning	
Brandens totala omfattning	Startutrymme	Antal	Startutrymme	Antal	Startutrymme	Antal
Branden spred sig till annan byggnad	Annat	2	Annat	3	Annat	2
	Fristående förråd/uthus	7	Fristående förråd/uthus	4	Fristående förråd/uthus	5
	Förråd	1	Förråd	1	Fristående garage	1
	Förråd/klädkammare	1	Kök	3	Försäljningslokal	1
	Höupplag/loge/lada	2	Lager	2	Okänt	1
	Lager	11	Lastbrygga	1	Samlingslokal	2
	Okänt	4	Okänt	2	Utanför byggnaden	3
	Utanför byggnaden	5	Produktionslokal	1	Utomhus	1
	Utomhus	2	Skorsten	1		16
		35	Soprum/sopnedkast	1		
			Sovrum/sovsal	1		
			Utanför byggnaden	3		
			Utomhus	2		
			Vind	2		
				27		
I Startbyggnaden	Annat	7	Annat	15	Annat	34
	Balkong/altan	1	Badrum/toalett	1	Badrum/toalett	2
	Balkong/loftgång	1	Djurstall	1	Badrum/toalett/bastu	1
	Elcentral	1	Elcentral	1	Balkong/altan	3
	Fristående förråd/uthus	37	Eldriftrum	1	Bastu	3
	Fristående garage	1	Fläkt/luftbehand rum	2	Datacentral	1
	Förråd	14	Fristående förråd/uthus	11	Djurstall	1
	Förråd/klädkammare	1	Förråd	6	Fristående förråd/uthus	25
	Försäljningslokal	1	Förråd/klädkammare	2	Fristående garage	1
	Höupplag/loge/lada	7	Försäljningslokal	69	Förråd	9
	Inbyggt garage	1	Hall	1	Förråd/klädkammare	1
	Kontor	4	Ingbyggt garage	3	Försäljningslokal	3
	Källare (ej boyta)	1	Kontor	5	Hall	3
	Kök	2	Källare (ej boyta)	4	Kontor	3
	Lager	62	Kök	11	Kök	3
	Lastbrygga	1	Lager	18	Lastbrygga	1
	Okänt	26	Lastbrygga	15	Okänt	19
	Pannrum	4	Luftbehandlingsutrymme	1	Pannrum	2
	Produktionslokal	4	Okänt	19	Personalutrymmer	3
	Tvättstuga	1	Pannrum	5	Samlingslokal	6
	Upplag	3	Personalutrymme	5	Utanför byggnaden	29
	Utanför byggnaden	6	Samlingslokal	2	Utomhus	8
	Utomhus	2	Soprum/sopnedkast	2	Vind	4
	Verkstad	1	Sovrum/sovsal	1		165
	Verkstad/hobbyrum	1	Trapphus/korridor	4		
	Vind	5	Upplag	3		
		195	Utanför byggnaden	40		
			Utomhus	18		
			Verkstad	1		
			Verkstad/hobbyrum	3		
			Vind	9		
				279		

	Lager		Handel		Idrottsanläggning	
Brandens totala omfattning	Startutrymme	Antal	Startutrymme	Antal	Startutrymme	Antal
I startbrandcellen	Annat	4	Annat	8	Annat	13
	Badrum/toalett/bastu	1	Badrum/toalett	4	Badrum/toalett	1
	Elcentral	1	Bastu	1	Badrum/toalett/bastu	2
	Fläkt/luftbehand rum	3	Fläkt/luftbehand. rum	2	Bastu	9
	Fristående förråd/uthus	1	Fristående förråd/uthus	1	Datacentral	1
	Inbyggt garage	1	Förråd	3	Fristående förråd/uthus	5
	Kontor	2	Förråd/Klädkammare	3	Förråd	1
	Kök	3	Försäljningslokal	59	Hall	1
	Lager	19	Hall	2	Kontor	1
	Okänt	1	Inbyggt garage	2	Kök	2
	Personalutrymme	2	Kontor	4	Lager	1
	Silo	1	Korridor	1	Okänt	2
	Upplag	1	Källare (ej boyta)	5	Pannrum	1
	Utanför byggnaden	2	Kök	20	Samlingslokal	9
	Utomhus	4	Lager	12	Tvättstuga	4
	Verkstad	2	Lastbrygga	2	Utanför byggnaden	4
		48	Luftbehandlingsutrymme	1	Utomhus	2
			Okänt	1	Vind	1
			Pannrum	2		60
			Personalutrymme	8		
			Produktionslokal	1		
			Samlingslokal	4		
			Soprum/sopnedkast	3		
			Sovrum/sosval	2		
			Trapphus/korridor	2		
			Utanför byggnaden	10		
			Utomhus	2		
			Verkstad	2		
			Verkstad/hobbyrum	1		
				168		
I startutrymmet	Annat	23	Annat	62	Annat	40
	Badrum/toalett/bastu	1	Badrum/toalett	9	Badrum/toalett	3
	Elcentral	1	Badrum/toalett/bastu	5	Badrum/toalett/bastu	17
	Eldriftrum	2	Balkong/altan	4	Balkong/altan	1
	Fläkt/luftbehand rum	1	Bastu	2	Bastu	18
	Fristående förråd/uthus	32	Elcentral	8	Elcentral	1
	Fristående garage	3	Eldriftrum	5	Eldriftrum	2
	Förråd	17	Fläkt/luftbehand rum	8	Fläkt/luftbehand rum	4
	Förråd/klädkammare	2	Frisående förråd/uthus	14	Fristående förråd/uthus	37
	Försäljningslokal	3	Frisående garage	1	Fristående garage	1
	Höupplag/loge/lada	2	Förråd	14	Förråd	12
	Inbyggt garage	1	Förråd/klädkammare	3	Förråd/klädkammare	5
	Kontor	3	Försäljningslokal	186	Försäljningslokal	2
	Källare (ej boyta)	4	Hall	7	Hall	1
	Kök	8	Inbyggt garage	7	Inbyggt garage	2
	Lager	67	Kontor	14	Kontor	8
	Lastbrygga	3	Korridor	3	Korridor	1
	Okänt	2	Källare (ej boyta)	7	Källare (ej boyta)	8
	Pannrum	6	Kök	91	Kök	11
	Personalutrymme	3	Lager	42	Okänt	1
	Produktionslokal	6	Lastbrygga	8	Pannrum	3
	Radgarage	1	Luftbehandlingsutrymme	1	Personalutrymme	7
	Samlingslokal	1	Okänt	5	Produktionslokal	1
	Silo	3	Pannrum	8	Samlingslokal	13
	Sovrum/sosval	2	Personalutrymme	27	Soprum/sopnedkast	1
	Trapphus/korridor	1	Produktionslokal	9	Sovrum/sosval	1
	Tvättstuga	1	Radgarage	1	Tvättstuga	5
	Upplag	4	Samlingslokal	7	Utanför byggnaden	11
	Utanför byggnaden	4	Silo	3	Utomhus	2
	Utomhus	6	Skorsten	2	Verkstad	1
	Vardagsrum	1	Soprum/sopnedkast	12	Verkstad/hobbyrum	1
	Verkstad	4	Sovrum/sosval	2	Vind	2
	Verkstad/hobbyrum	3	Trapphus	6		223
	Vind	4	Trapphus/korridor	5		
		225	Tvättstuga	2		
			Utanför byggnaden	33		
			Utomhus	11		
			Vardagsrum	1		
			Verkstad	4		
			Verkstad/hobbyrum	2		
			Vind	11		
				651		

	Lager		Handel		Idrottsanläggning	
Brandens totala omfattning	Startföremål	Antal	Startföremål	Antal	Startföremål	Antal
I Startföremålet	Annat	209	Andra elinstallationer	210	Andra elinstallationer	41
	Byggnadens utsida	62	Annan lös inredning	27	Annat	163
	Eldstad	5	Annat	617	Bastuaggregat	90
	Papper/kartong	9	Brandfarlig vätska	28	Brandfarlig vätska	4
	Lös inredning	30	Byggnadens utsida	197	Byggnadens utsida	79
	Okänt	48	Kläder	9	Gardiner	2
	Annan lös inredning	9	Lös inredning	126	Lysrör	17
	Brandfarlig vätska	3	Okänt	66	Lös inredning	23
	Skräp i container/motv.	12	Papper/kartong	62	Okänt	25
	Fläkt/annan vent.anlägg	23	Personbil	26	Papper/kartong	22
	Andra elinstallationer	41	Skräp i container/motsvarande	69	Skräp i container/motv.	7
	Spis	15	Uppvärmningsanordning	57	Kläder	7
	Övriga vägfordon	7	Fläkt/Annan vent.anl.	88	Uppvärmningsanordning	23
	Bastuaggregat	2	Lysrör	108	Annan lös inredning	14
	Dator	2	Spis	179	Dator	2
	Brandfarlig gas	1	Lysrörsarmatur	134	Kaffebryggare	1
	Elcentral	10	Expl. Ämne/sprängämne	5	Spis	17
	Maskin	39	Eldstad	15	Personbil	1
	Uppvärmningsanordning	19	Övriga vägfordon	8	Expl. Ämne/sprängämne	1
	Torktumlare	2	Bastuaggregat	4	Säng	1
	Glödlampa	1	Elcentral	44	Eldstad	4
	Personbil	6	Kyl/frys	59	Maskin	8
	Expl. Ämne/sprängämne	2	Torktumlare	7	Lysrörsarmatur	34
	Kaffebryggare	3	Glödlampa	31	Elcentral	12
	Kyl/frys	2	Kaffebryggare	22	Fläkt/annan vent.anlägg.	13
	Transformator	5	Rökkanal	20	Glödlampa	5
	Lysrörsarmatur	20	Soffa/fåtölj	3	Övriga vägfordon	1
	Rökkanal	1	TV	3	Torktumlare	8
	Lysrör	10	Transformator	35	Tvättmaskin	5
	Tvättmaskin	2	Maskin	32	Rökkanal	1
			Brandfarlig gas	2	Kyl/frys	2
			600 Gardiner	1	Stereo/video/DVD	1
			Stereo/video	1		
			Dator	2		
			Diskmaskin	9		
			Strykjärn	3		
			Tvättmaskin	4		
				2313		
I Okänd	Okänt	1	Annat	1	Samlingslokal	1
			Försäljningslokal	3	Utomhus	1
			Kök	1	Okänt	2
			Okänt	3		4
				7		

Bilaga B

I följande bilaga redovisas data som används samt de olika areorna för de olika omfattningskategorierna för respektive byggnadskategori. Även kategoriseringen av arean redovisas. Redovisningen följer omfattningskategorierna.

Bilaga B.1 – I startbyggnaden

Först redovisas *Allmän byggnad – Handel* därefter *Allmän byggnad – Idrottsanläggning* och sist *Industri – Lager* för omfattningskategorin i startbyggnaden. Därefter redovisas kategoriseringen av arean.

Brandens totala omfattning						
Handel	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
I startbyggnaden	Annat				15	
	Badrum/toalett	5	50	Släckt/slocknad	1	
	Djurstall	100	2000	I flera rum	1	totalförstört
	Elcentral	2	50	I startföremål	1	
	Eldriftrum	10	100	I startutrymme	1	
	Fläkt/luftbehand rum	5	100	Endast rökutv	2	0-25, 25-50
	Fristående förråd/uthus				11	
	Förråd	15	100	I flera rum	2	25-50, 75-100
		1	50	I startföremålet	2	
		2	50	I startutrymme	2	
	Förråd/klädkammare	20	200	I flera rum	1	
		5	30	I startutrymme	1	
	Försäljningslokal	20	5000	Släckt/slocknad	1	
		20	1500	Endast rökutv,	5	25-50, 50-75, 75-100, 100-500, 500-1000
		50	7000	I flera brandceller	2	2 å 100-5000
		40	6000	I flera rum	18	4 å 75-100, 500-1000, 1000-5000, 6 i 100-500
		10	50	I startföremålet	15	7 i 0-25, 8 i 25-50
		10	5000	I startutrymme	24	6 å 75-5000
	Hall	10	1000	I flera rum	1	
	Ingbyggt garage	5	80	Släckt/slocknad	1	
		30	150	I flera rum	2	75-100, 100-500
	Kontor	20	100	Endast rökutv,	1	
		20	500	I flera rum	4	75-100, 100-500
	Källare (ej boyta)				4	
	Kök	20	300	I flera rum	8	2 i 50-75, 3 i 75-100, 3 i 100-500
		5	50	I startföremålet	1	
		5	100	I startutrymme	2	50-75, 75-100
	Lager	10	800	Endast rökutv,	1	
		20	2000	I flera brandceller	1	
		20	1500	I flera rum	7	3 i 100-500, 3 i 500-1000, 1 i 1000-5000
		10	50	I startföremålet	2	
		10	1000	I startutrymme	7	
	Lastbrygga	50	1000	I flera brandceller	3	2 i 100-500, 1 i 500-1000
		20	500	I flera rum	4	75-100, 100-500
		1	50	I startföremålet	2	
		20	300	I startutrymme	6	75-100, 100-500
	Luftbehandlingsutrymme	10	50	Endast rökutv,	1	
	Okänt				19	
	Pannrum	5	40	Endast rökutv,	1	
		15	100	I flera rum	2	50-75, 75-100
		5	50	I startutrymme	2	0-25, 25-50
	Personalutrymme	100	500	I flera brandceller	1	
		50	200	I flera rum	3	2 i 75-100, 100-500
		10	100	I startutrymme	1	
	Samlingslokal	50	2000	I flera rum	1	
		20	500	I startutrymme	1	
	Soprum/sopnedkast	10	500	I flera brandceller	1	
		5	50	I startföremålet	1	
	Sovrum/sovsal	7	100	I startutrymme	1	
	Trapphus/korridor	5	500	I flera rum	3	
		2	50	I startföremålet	1	
	Upplag	5	500	I flera rum	2	
		1	200	I startföremålet	1	
	Utanför byggnaden				40	
	Utomhus				18	
	Verkstad	10	100	Endast rökutv,	1	
	Verkstad/hobbyrum	20	300	I flera rum	3	
	Vind				9	
Antal relevanta bränder					163	

Brandens totala omfattning						
	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
Idrottsanläggning						
I startbyggnaden	Annat				34	
	Badrum/toalett	20	100	I flera rum	2	1 i 25-50, 1 i 75-100
	Badrum/toalett/bastu	10	50	I startutrymmet	1	
	Balkong/altan				3	
	Bastu	50	300	I flera brandceller	1	
		20	100	I flera rum	2	1 i 25-50, 1 i 75-100
	Datacentral	20	70	I startutrymmet	1	
	Djurstall	100	2000	I flera brandceller	1	
	Fristående förråd/uthus				25	
	Fristående garage				1	
	Förråd	40	300	I flera rum	6	1 i 50-75, 2 i 75-100, 3 i 100-500
		10	50	I startföremålet	1	
		2	100	I startutrymmet	2	1 i 0-25, 1 i 75-100
	Förråd/klädskammare	10	50	I startutrymmet	1	
	Försäljningslokal	50	1000	I flera rum	2	1 i 100-500, 1 i 500-1000
		10	100	I startutrymmet	1	
	Hall	50	7500	Endast rökutveckling	2	1 i 100-500, 1 i 5000-10000
		50	8000	I startutrymmet	1	
	Kontor	500	2000	I flera brandceller	1	
		40	300	I flera rum	2	
	Kök	50	400	I flera rum	2	
		10	100	I startutrymmet	1	
	Lastbrygga	20	265	I startföremålet	1	
	Okänt				19	
	Pannrum	20	100	I flera rum	1	
		10	50	I startutrymmet	1	
	Personalutrymme	200	500	I flera brandceller	1	
		50	200	I flera rum	1	
		20	100	I startutrymmet	1	
	Samlingslokal	1000	4000	I flera rum	4	
		200	2000	I startutrymmet	2	
	Utanför byggnaden				29	
	Utomhus				8	
	Vind				4	
Antal relevanta bränder					42	
Lager						
I startbyggnaden	Annat				7	
	Balkong/altan	2	20	Endast rökutveckling	1	
	Balkong/loftgång	50	500	I flera rum	1	
	Elcentral	5	50	Branden släckt/slocknad	1	
	Fristående förråd/uthus				37	
	Fristående garage				1	
	Förråd	2	50	Branden släckt/slocknad	1	
		15	100	I flera rum	10	
		1	10	I startföremålet	2	okänt
		2	50	I startutrymmet	1	
	Förråd/klädskammare	10	50	I startutrymmet	1	
	Försäljningslokal	5	600	I startutrymmet	1	
	Höupplag/loge/lada	20	800	I flera rum	5	
		1	20	I startföremålet	1	Okänt
		1	500	I startutrymmet	1	
	Inbyggt garage	30	150	I flera rum	1	
	Kontor	50	6000	I flera rum	3	1 st 100-500, 1 st i 500-1000, 1 i 1000-5000
	Källare (ej boyta)			I startutrymmet	1	
	Kök	20	300	I flera brandceller	1	
		20	300	I flera rum	1	
	Lager	2	100	Branden släckt/slocknad	1	
		2	100	Endast rökutveckling	1	
		100	150000	I flera brandceller	3	1 i varje
		100	100000	I flera rum	17	75 % ligger i 1000-5000 och resten ligger i 5000-10000
		1	100	I startföremålet	13	7 i 0-25, 3 i 25-50, 3 i 50-75
		100	100000	I startutrymmet	27	1/3 i 100-500, 1/3 i 500-1000, 1/3 i 1000-5000
	Lastbrygga	20	265	I startutrymmet	1	
	Okänt				26	
	Pannrum	20	150	I flera brandceller	2	Egen brandcell
		10	100	I flera rum	2	
	Produktionslokal	1	25	Endast rökutveckling	1	
		150	5000	I flera brandceller	2	
		150	4000	I flera rum	1	
	Tvättstuga	15	500	I flera brandceller	1	
	Upplag	1	200	I startutrymmet	3	
	Utanför byggnaden				6	
	Utomhus				2	
	Verkstad	150	4000	I flera rum	1	
	Verkstad/hobbyrum	20	300	I flera rum	1	
	Vind				5	
Antal relevanta bränder					108	

Tabellen nedan redovisar antalet bränder i de olika areakategorierna för respektive byggnadskategori.

Kategorisering efter area	0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000
I startbyggnaden - Handel	9	32	6	30	53	17	16	0	0
I startbyggnaden - Idrottsanläggning	1	6	4	9	11	5	4	2	0
I startbyggnaden - Lager	12	6	4	18	21	18	24	4	1

Bilaga B.2 – I startbrandcellen

Först redovisas *Allmän byggnad – Handel* därefter *Allmän byggnad – Idrottsanläggning* och sist *Industri – Lager* för omfattningskategorin i startbrandcellen. Därefter redovisas kategoriseringen av arean.

Brandens totala omfattning						
Handel	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
I startbrandcellen	Annat				8	
	Badrum/toalett	5	20	Branden släckt/slocknad	1	
		0,5	1,5	I startföremålet	1	
		5	20	I startutrymmet	2	
	Bastu	1	10	Endast rökutveckling	1	
	Fläkt/luftbehand. rum	10	200	I flera rum	1	
		5	50	I startföremålet	1	
	Fristående förråd/uthus				1	
	Förråd	15	100	I flera rum	3	25-50, 50-75, 75-100
	Förråd/klädkammare	5	50	Endast rökutveckling	1	
		20	150	I flera rum	1	
		5	50	I startutrymmet	1	
	Försäljningslokal	20	4000	Branden släckt/slocknad	4	25-50, 50-75, 75-100, 100-500
		20	4000	Endast rökutveckling	4	25-50, 50-75, 75-100, 100-500
		40	5000	I flera rum	20	75-100, 100-500, 500-1000, 1000-5000
		10	50	I startföremålet	5	2 i 0-25, 3 i 25-50
		10	5000	I startutrymmet	26	5 å 50-1000, 6 1000-5000
	Hall	5	50	I startföremålet	1	
		10	500	I startutrymmet	1	
	Inbyggt garage	15	50	Endast rökutveckling	1	
		15	50	I startutrymmet	1	
	Kontor	20	500	I flera rum	4	75-100, 100-500
	Korridor	20	600	I flera rum	1	
	Källare (ej boyta)				5	
	Kök	5	50	Branden släckt/slocknad	1	
		5	50	Endast rökutveckling	3	
		20	300	I flera rum	7	2 i 50-75, 2 i 75-100, 3 i 100-500
		5	50	I startföremålet	4	0-25, 25-50
		5	100	I startutrymmet	5	25-50, 50-75, 3 i 75-100
	Lager	10	900	Branden släckt/slocknad	2	75-100, 100-500
		10	700	Endast rökutveckling	1	
		20	1500	I flera rum	4	500-100, 1000-5000
		10	1000	I startutrymmet	5	50-75, 75-100, 3 i 100-500
	Lastbrygga	20	500	I flera rum	1	
		10	265	I startutrymmet	1	
	Luftbehandlingsutrymme	5	50	I startutrymmet	1	
	Okänt				1	
	Pannrum	20	100	I flera rum	1	
		5	15	I startutrymmet	1	
	Personalutrymme	10	70	Branden släckt/slocknad	1	
		10	50	Endast rökutveckling	3	2 i 0-25, 25-50
		15	150	I flera rum	3	50-75, 75-100, 100-500
		10	50	I startutrymmet	1	
	Produktionslokal	10	100	Endast rökutveckling	1	
		10	500	I flera rum	1	
	Samlingslokal	50	1500	I flera rum	2	100-500, 500-1000
		20	500	I startutrymmet	2	75-100, 100-500
	Soprum/sopnedkast	10	50	I startutrymmet	3	1 i 0-25, 2 i 25-50
	Sovrumsal/sovsal	10	500	I flera rum	1	
		7	50	I startutrymmet	1	
	Trapphus/korridor	5	500	I flera rum	2	50-75, 100-500
	Utanför byggnaden				10	
	Utomhus				2	
	Verkstad	10	100	I startutrymmet	2	25-50, 75-100
	Verkstad/hobbyrum	10	100	I startutrymmet	1	
Antal relevanta bränder					142	

Brandens totala omfattning						
	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
Idrottsanläggning						
I startbrandcell	Annat				13	
	Badrum/toalett	20	50	I flera rum	1	
	Badrum/toalett/bastu	20	70	I flera rum	1	
		0,5	1,5	I startföremålet	1	
	Bastu	1	10	Branden släckt/slocknad	1	
		0,5	1,5	Endast rökutveckling	3	
		10	50	I flera rum	2	
		1	10	I startutrymme	3	
	Datacentral	10	50	I startbrandcellen	1	
	Fristående förråd/uthus			I flera rum	1	
				I startutrymme	4	
	Förråd	10	200	I startbrandcellen, i flera rum	1	
	Hall	50	7500	I startutrymme	1	
	Kontor	10	150	I startutrymme	1	
	Kök	50	200	I flera rum	2	1 i 75-100, 1 i 100-500
	Lager	5	100	I startutrymme	1	
	Okänt			I flera rum	2	
	Pannrum	5	15	I startföremålet	1	
	Samlingslokal	20	50	Branden släckt/slocknad	1	
		0,2	5	Endast rökutveckling	2	
		200	3000	I flera brandceller	1	
		200	3000	I flera rum	3	
		200	2000	I startutrymme	2	
	Tvättstuga	5	20	Endast rökutveckling	3	
		20	50	I startutrymme	1	
	Utanför byggnaden			I startföremålet	2	
				I startutrymme	2	
	Utomhus			I flera rum	1	
				I startutrymme	1	
	Vind			I flera rum	1	
Antal relevanta bränder					33	
Lager						
I startbrandcellen	Annat				4	
	Badrum/toalett/bastu	20	50	I startutrymme	1	
	Elcentral	15	50	I flera rum	1	
	Fläkt/luftbehand rum	5	50	Branden släckt/slocknad	1	Egen brandcell
		5	50	Endast rökutveckling	1	Egen brandcell
		5	50	I startföremålet	1	Annat, Egen brandcell
	Fristående förråd/uthus				1	
	Inbyggt garage	20	100	I startutrymme	1	
	Kontor	50	5000	I startutrymme	2	1 i 75-100, 1 i 1000-5000
	Kök	20	50	Endast rökutveckling	2	
		15	150	I flera rum	1	
	Lager	100	200	Branden släckt/slocknad	1	Lär vara små bränder om de inte tagit sig när rä.tj anländer
		100	200	Endast rökutveckling	1	Lär vara små bränder om de inte tagit sig när rä.tj anländer
		100	100000	I flera rum	2	Egen brandcell
		10	50	I startföremålet	3	Annat+Okänt+Papper/kartong 1 i 0-25, 2 i 25-50
		100	100000	I startutrymme	13	3 i varje 100-10000
	Okänt				1	
	Personalutrymme	10	600	I startutrymme	2	1 i 25-50, 1 i 100-500
	Silo				1	
	Upplag	1	200	I startutrymme	1	
	Utanför byggnaden				2	
	Utomhus				4	
	Verkstad	10	4000	I startutrymme	2	
Antal relevanta bränder					35	

Tabellen nedan redovisar antalet bränder i de olika areakategorierna för respektive byggnadskategori.

Kategorisering efter area	0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000
I startbrandcellen - Handel	16	25	16	29	30	13	13	0	0
I startbrandcellen - Idrottsanläggning	11	9	1	3	2	3	4	0	0
I startbrandcellen - Lager	4	7	1	2	10	3	4	4	0

Bilaga B.3 – I startutrymmet

Först redovisas *Allmän byggnad – Handel* därefter *Allmän byggnad – Idrottsanläggning* och sist *Industri – Lager* för omfattningskategorin i startutrymmet. Därefter redovisas kategoriseringen av arean.

Brandens totala omfattning						
Handel	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
I startutrymmet	Annat				62	
	Badrum/toalett	2	10	Branden släckt/slocknad	5	
		1	5	I startföremålet	3	
		2	10	I startutrymmet	1	
	Badrum/toalett/bastu	2	20	Branden släckt/slocknad	1	
		2	5	Endast rökutveckling	1	
		1	5	I startföremålet	1	
		2	20	I startutrymmet	2	
	Balkong/altan				4	
	Bastu	2	5	Endast rökutveckling	1	
		1	5	I startföremålet	1	
	Elcentral	2	10	Branden släckt/slocknad	2	
		1	10	Endast rökutveckling	4	
		1	5	I startföremålet	1	
		2	10	I startutrymmet	1	
	Eldriftrum	2	10	Branden släckt/slocknad	1	
		1	10	Endast rökutveckling	1	
		1	5	I startföremålet	2	
		2	10	I startutrymmet	1	
	Fläkt/luftbehan rum	1	10	Endast rökutveckling	5	
		1	5	I startföremålet	2	
		5	50	I startutrymmet	1	
	Fristående förråd/uthus				14	
	Fristående garage				1	
	Förråd	1	10	Branden släckt/slocknad	3	
		1	5	Endast rökutveckling	3	
		1	5	I startföremålet	2	
		2	20	I startutrymmet	6	
	Förråd/klädkammare	1	5	I startföremålet	1	
		5	20	I startutrymmet	2	
	Försäljningslokal	1	500	Branden släckt/slocknad	20	5 å 25-500
		1	100	Endast rökutveckling	32	8 å 0-100
		10	6000	I flera rum	1	
		1	10	I startföremålet	23	
		10	5000	I startutrymmet	110	18 å 50-5000, 20 1 25-50
	Hall	2	100	Branden släckt/slocknad	1	
		1	50	Endast rökutveckling	3	
		1	10	I startföremålet	1	
		10	500	I startutrymmet	2	1 i 75-100, 1 i 100-500
	Inbyggt garage	2	15	Branden släckt/slocknad	1	
		2	10	Endast rökutveckling	1	
		1	10	I startföremålet	4	
		15	50	I startutrymmet	1	
	Kontor	10	100	Branden släckt/slocknad	2	1 i 25-25, 1 i 75-100
		10	50	Endast rökutveckling	5	
		10	200	I startutrymmet	7	1 i 50-75, 1 i 75-100, 5 i 100-500
	Korridor	10	200	I startutrymmet	2	1 i 50-75, 1 i 100-500
	Källare (ej boyta)				7	
	Kök	10	50	Branden släckt/slocknad	19	
		10	20	Endast rökutveckling	12	
		20	100	I flera rum	1	
		1	5	I startföremålet	20	
		10	50	I startutrymmet	39	
	Lager	10	700	Branden släckt/slocknad	3	1 i 0-25, 1 i 50-75, 1 i 100-500
		10	500	Endast rökutveckling	4	2 i 25-50, 2 i 100-500
		20	1500	I flera rum	1	
		1	10	I startföremålet	8	
		10	1000	I startutrymmet	26	5 å 50-1000, 6 i 25-50
	Lastbrygga	20	265	Branden släckt/slocknad	1	
		1	10	I startföremålet	2	
		20	265	I startutrymmet	5	1 å 25-100, 2 i 100-500
	Luftbehandlingsutrymme	5	50	Endast rökutveckling	1	
	Okänt				5	
	Pannrum	5	15	Endast rökutveckling	1	
		1	5	I startföremålet	1	
		5	15	I startutrymmet	6	
	Personalutrymme	10	50	Branden släckt/slocknad	5	
		10	50	Endast rökutveckling	4	
		1	5	I startföremålet	5	
		10	50	I startutrymmet	13	

	Produktionslokal	10	100	Branden släckt/slocknad	2	
		10	50	Endast rökutveckling	2	
		10	100	I startutrymmet	3	
	Radgarage	10	50	Endast rökutveckling	1	
	Samlingslokal	1	10	I startföremålet	2	
		10	500	I startutrymmet	5	1 i 25-50, 1 i 50-75, 1 i 75-100, 2 i 100-500
	Silo				3	
	Skorsten	1	5	Branden släckt/slocknad	1	
		1	5	I startutrymmet	1	
	Soprum/sopnedkast	10	50	Branden släckt/slocknad	1	
		1	10	I startföremålet	3	
		10	50	I startutrymmet	8	4 i 0-25, 4 i 25-50
	Sovrum/sovsal	7	50	Branden släckt/slocknad	1	
		7	50	I startutrymmet	1	
	Trapphus	2	40	Branden släckt/slocknad	3	2 i 0-25, 1 i 25-50
		2	20	Endast rökutveckling	1	
		1	10	I startföremålet	1	
		2	40	I startutrymmet	1	
	Trapphus/korridor	2	20	Endast rökutveckling	1	
		1	10	I startföremålet	2	
		2	100	I startutrymmet	2	1 i 50-75, 1 i 75-100
	Tvättstuga	5	10	Endast rökutveckling	2	
	Utanför byggnaden				33	
	Utomhus				11	
	Vardagsrum	10	30	I startutrymmet	1	
	Verkstad	1	100	Branden släckt/slocknad	1	
		1	50	Endast rökutveckling	1	
		1	10	I startföremålet	1	
		10	100	I startutrymmet	1	
	Verkstad/hobbyrum	10	100	I startutrymmet	2	1 i 50-75, 75-100
	Vind				11	
Antal relevanta bränder					498	
Brandens totala omfattning						
	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
Idrottsanläggning						
I startutrymmet	Annat				40	
	Badrum/toalett	2	15		3	
	Badrum/toalett/bastu	5	20		17	
	Balkong/altan				1	
	Bastu	1	10		18	
	Elcentral	2	10		1	
	Eldriftrum	2	10		2	
	Fläkt/luftbehand rum	5	50		4	2 i 0-25, 2 i 25-50
	Fristående förråd/uthus				37	
	Fristående garage				1	
	Förråd	2	20		12	
	Förråd/klädkammare	3	12		5	
	Försäljningslokal	5	50		2	1 i 0-25, 1 i 25-50
	Hall	50	7500		1	
	Inbyggt garage	5	30		2	1 i 0-25, 1 i 25-50
	Kontor	10	150		8	1 i 0-25, 1 i 25-50, 4 i 50-75, 2 i 100-500
	Korridor	20	400		1	
	Källare (ej boyta)				8	
	Kök	5	50		11	2 i 0-25, 9 i 25-50
	Okänt				1	
	Pannrum	5	15		3	
	Personalutrymme	10	50		7	4 i 0-25, 3 i 25-50
	Produktionslokal				1	
	Samlingslokal	200	2000		13	5 i 100-500, 6 i 500-1000, 2 i 1000-5000
	Soprum/sopnedkast	5	25		1	
	Sovrum/sovsal	7	50		1	
	Tvättstuga	5	20		5	
	Utanför byggnaden				11	
	Utomhus				2	
	Verkstad	10	50		1	
	Verkstad/hobbyrum	5	50		1	
	Vind				2	
Antal relevanta bränder					119	

Brandens totala omfattning	Startutrymme	Area_min	Area_max	Utveckling, omfattning vid ankomst	Antal	Tillhörande kategori
Lager						
I startutrymmet	Annat				23	
	Badrum/toalett/bastu	2	20		1	
	Elcentral	2	10		1	
	Eldriftrum	2	10		2	
	Fläkt/luftbehand rum	5	50		1	
	Fristående förråd/uthus				32	
	Fristående garage				3	
	Förråd	2	20		17	
	Förråd/klädkammare	5	15		2	
	Försäljningslokal	5	500		3	1 i 25-50, 1 i 75-100, 1 i 100-500
	Höupplag/loge/lada	10	500		2	uppdelad
	Inbyggt garage	15	50		1	
	Kontor	10	5000		3	1 i 0-25, i 100-500, 1 i 1000-5000
	Källare (ej boyta)				4	
	Kök	10	50		8	50/50 0-25, 25-50
	Lager	100	100000		67	se nere
	Lastbrygga	20	265		3	Uppmätt i Google Earth
	Okänt				2	
	Pannrum	5	15		6	
	Personalutrymme	10	600		3	1 i 25-50, 1 i 75-100, 1 i 100-500
	Produktionslokal	100	4000		6	2 i 0-25, 1 i 50-75, 2 i 500-1000, 1 i 1000-5000
	Radgarage	30	70		1	
	Samlingslokal	10	600		1	
	Silo				3	
	Sovrum/sovsal	7	50		2	
	Trapphus/korridor	2	40		1	
	Tvättstuga	5	20		1	
	Upplag	1	200		4	Uppdelad 50% 0-25, 50% 75-100
	Utanför byggnaden				4	
	Utomhus				6	
	Vardagsrum	10	30		1	
	Verkstad	10	4000		4	1 i 0-25, 1 i 75-100, 1 i 100-500, 1 i 500-1000
	Verkstad/hobbyrum	10	100		3	Uppdelad 1 på varje
	Vind				4	
Antal relevanta bränder					144	
		Lager		släckt	5	
				rök	9	
				flerarum	1	
				startföremål	17	
				startutrymme	35	3 i röd, 7 i mörkgrön, 10 i lila, 15 i ljusgrön
					67	

Tabellen nedan redovisar antalet bränder i de olika areakategorierna för respektive byggnadskategori.

Kategorisering efter area	0-25	25-50	50-75	75-100	100-500	500-1000	1000-5000	5000-10000	10000-150000
I startutrymmet - Handel	175	142	47	49	42	24	19	0	0
I startutrymmet - Idrottsanläggning	78	20	4	2	7	6	2	0	0
I startutrymmet - Lager	60	21	8	7	23	13	9	3	0

Bilaga B.4 – I startföremålet

Först redovisas *Allmän byggnad – Handel* därefter *Allmän byggnad – Idrottsanläggning* och sist *Industri – Lager* för omfattningskategorin i startföremålet. Därefter redovisas kategoriseringen av arean.

Startföremål, Handel	A_min	A_max	HRR_min	HRR_max	HRR/m2		
Andra elinstallationer	0,7	1,2	250	450	366	initial fires s.16	
Annan lös indredning	0,2	5	200	3000	800	ex. växter och säng liknande saker, julgran, garderob m kläder	
Annat	?	?				Ej tillämpbar	
Brandfarlig vätska	0,1	2	250	5000	2500	Värdet taget för bensin	
Byggnadens utsida	?	?				Tillämpa som skräp i container eller ta bort?	
Kläder	0,5	1,5	100	1500	600	Bwala 2005!	
Lös inredning	0,2	5	170	8500	1275	initial fires s.36 samt brandfrekvenser och typbränder s 82	
Okänt	?	?				Ej tillämpbar	
Papper/kartong	0,1	5	50	2500	500	Enclosure fire dynamics s 42 (15 ft hög stapel/15ft)+lite till	
Personbil	4	8	1500	8500	719	initial fires 89	
Skräp i container/motsv.	1	6	400	2500	408	se papper/kartong. Lite mindre syre som kommer till	
Uppvärmningsanordning	1	5	100	1000	150	Allt från plåtelement till värmeflaktar och vedpannor. Inte mkt brännbart i det eftersom det är till för uppvärmning.	
Fläkt/Annan vent.anl.	1	2	100	1000	300	Se ovan	
Lysrör	0,05	0,1	10	50	350	Egen uppskattning	
Spis	0,3	1,5	100	500	333	Uppskattat 10 kg plast a 40 MJ/kg 1200 sek	
Lysrörsarmatur	0,1	1	50	300	400	Egen uppskattning	
Expl. Ämne/sprängämne	0,1	1	250	2500	2500	Egen uppskattning, jmf med typ bensin	
Eldstad	0,5	2	100	1000	350	Delta Hc ved ~20 MJ/kg	
Övriga vägfordon	5	20	1500	10000	400	jmf personbil, fast mer fria volymer i typ en buss	
Bastuaggregat	0,5	1,5	100	200	167	Ej mkt brännbart i själva aggregatet	
Elcentral	1	5	250	1000	225	jmf andra elinstallationer, mkt sladdar	
Kyl/frys	1	3	500	2800	717	Mest plast som kan brinna	
Torktumlare	1	1,5	700	1000	683	Typ som en tvättmaskin	
Glödlampa	0,05	0,02	10	50	1350	Egen uppskattning	
Kaffebryggare	0,1	1	20	40	120	Initial fires s. 39	
Rökkanal	1	10	50	1000	75	Som eldstad fast mkt mer välisolerad	
Soffa/fåtölj	0,3	1,7	300	3000	1382	initial fires s.58,70	
TV	0,5	1,5	200	600	400	initial fires s.40; Bengtsson, Lars-Göran (2001). Inomhusbrand. Karlstad:	
Transformator	0,5	8	350	5600	700	Enclosure fire dynamics ekv 3.5-3.6 samt tab 3.3	1 m^2 transformatorolja som brinner -> en cirkel med r= 1,12838. Ekv 3,6 Enclosure -> mprickbiz =0,039*(1-e^-0,7*1,12838)=0,0212977. Qprick (ekv 3.5)= 0,0212977*0,7*1*46,4=700kw=700 kw/m^2
Maskin	0,5	8	350	5600	700	700 kW/m2 om man antar att	
Brandfarlig gas	0,1	1	250	2500	2500	Jmf med typ bensin?	
Gardiner	3	9	250	1500	125	initial fires s.79	
Stereo/video	0,3	1	100	500	417	Ungefär som tv	
Dator	0,5	1,5	200	600	400	Se sfpe s. dlIII	
Diskmaskin	1	1,5	300	700	383	Mest plast som kan brinna (ca 10 kg a 40 MJ/kg)	
Strykjärn	0,05	0,08	10	40	350	Plast, typ som en kaffebryggare	
Tvättmaskin	1	1,5	700	1000	683	Ca 20 kg plast	

Startföremål, Idrottsanläggning	A_min	A_max	HRR_min	HRR_max	HRR/m2		
Andra elinstallationer	0,7	1,2	250	450		initial fires s.16	
Annan lös indredning	0,2	5	200	3000		ex. växter och säng liknande saker, julgran, garderob m kläder	
Bastuaggregat	0,5	1,5	100	200		Ej mkt brännbart i själva aggregatet	
Brandfarlig vätska					2500	Värdet taget för bensin	
Byggnadens utsida	?	?				Tillämpa som skräp i container eller ta bort?	
Gardiner	3	9	250	1500		initial fires s.79	
Lysrör	0,05	0,01	20	100		Egen uppskattning	
Lös indredning	0,2	3	170	8500		initial fires s.36 samt brandfrekvenser och typbränder s 82	
Okänt	?	?				Ej tillämpbar	
Papper/kartong	0.1	5			1700	Enclosure fire dynamics s 42 (15 ft hög stapel)	
Skräp i container/motsva	3	6	100/350		1700	initial fires 53	
Kläder	0,5	1,5	85	2000		Bwala 2005!	
Uppvärmningsanordning	1	5	10	1000		Allt från plåtelement till värmeflaktar och vedpannor. Inte mkt brännbart i det eftersom det är till för uppvärmning. Kanske sladdar som kan brinna	
Annan lös indredning	0,2	5	200	3000		ex. växter och säng liknande saker, julgran, garderob m kläder	
Dator	0,5	1,5	200	600		Se sfpe s. dlili	
Kaffebryggare	0,1	1	20	40		Initial fires s. 39	
Spis	0,4	1,5	100	500		Upskattat 10 kg plast a 40 MJ/kg 1200 sek	
Personbil	4	6	1500	8500		initial fires 89	
Expl. Ämne/sprängämne	0,2	1	100	2500		Egen uppskattning, jmf med typ bensin	
Säng	1,8	3,6	700	1600			
Eldstad	0,5	2	50	1000		Delta Hc ved ~20 MJ/kg	
Maskin	0,2	10	500	4000	700	700 kW/m2 om man antar att transformatorolja brinner?	
Lysrörsarmatur	0,5	1	100	200		Egen uppskattning	
Elcentral	1	5	250	900		jmf andra elinstallationer, mkt sladdar	
Fläkt/Annan vent.anl.	1	2	10	1000		Se ovan	
Glödlampa	0,05	0,02	10	50		Egen uppskattning	
Övriga vägfordon	5	7	1500	9000		jmf personbil	
Torktumlare	1	1,5	700	1000		Typ som en tvättmaskin	
Tvättmaskin	1	1,5	700	1000		Ca 20 kg plast	
Rökkanal	1	10	50	1000		Som eldstad	
Kyl/frys	1	3	1400	2800		Mest plast som kan brinna	
Stereo/video/DVD	0,12	0,5	100	500		Ungefär som tv	
Transformator	1	10			700	Enclosure fire dynamics ekv 3.5-3.6 samt tab 3.3	1 m^2 transformatorolja som brinner -> en cirkel med r= 1,12838. Ekv 3,6 Enclosure -> mprickbiz =0,039*(1-e^-0,7*1,12838)=0,0212977. Qprick (ekv 3.5)= 0,0212977*0,7*1*46,4=700kw=700 kw/m^2
Diskmaskin	1	1,5	300	500		Mest plast som kan brinna (ca 10 kg a 40 MJ/kg)	

Startföremål, Lager	A_min	A_max	HRR_min	HRR_max	HRR/m2		
Annat	?	?				Ej tillämpbar	
Byggnadens utsida	?	?				Tillämpa som skräp i container eller ta bort?	
Eldstad	0,5	2	50	1000		Delta Hc ved ~20 MJ/kg	
Papper/kartong	0,1	5			1700	Enclosure fire dynamics s 42 (15 ft hög stapel)	
Lös inredning	0,2	3	170	8500		initial fires s.36 samt brandfrekvenser och typbränder s 82	
Okänt	?	?				Ej tillämpbar	
Annan lös inredning	0,2	5	200	3000		ex. växter och säng liknande saker, julgran, garderob m kläder	
Brandfarlig vätska					2500	Värdet taget för bensin	
Skräp i container/motsv.	3	6	100/350		1700	initial fires 53	
Fläkt/Annan vent.anl.	1	2	10	1000		Se ovan	
Andra elinstallationer	0,7	1,2	250	450		initial fires s.16	
Spis	0,3	1,5	100	500		Uppskattat 10 kg plast a 40 MJ/kg 1200 sek	
Övriga vägfordon	5	7	1500	9000		jmf personbil	
Bastuaggregat	0,5	1,5	100	200		Ej mkt brännbart i själva aggregatet	
Dator	0,5	1,5	200	600		Se sfpe s. dlIII	
Brandfarlig gas	0,1	1			2500	Jmf med typ bensin?	
Elcentral	1	5	250	900		jmf andra elinstallationer, mkt sladdar	
Maskin	0,2	10	500	4000	700	700 kW/m2 om man antar att transformatorolja brinner?	
Uppvärmningsanordning	1	5	10	1000		Allt från plåtelement till värmeflaktar och vedpannor. Inte mkt brännbart i det eftersom det är till för uppvärmning. Kanske sladdar som kan brinna	
Torktumlare	1	1,5	700	1000		Typ som en tvättmaskin	
Glödlampa	0,05	0,02	10	50		Egen uppskattning	
Personbil	4	6	1500	8500		initial fires 89	
Expl. Ämne/sprängämne	0,2	1	100	2500		Egen uppskattning, jmf med typ bensin	
Kaffebryggare	0,1	1	20	40		Initial fires s. 39	
Kyl/frys	1	3	1400	2800		Mest plast som kan brinna	
Transformator	1	10			700	Enclosure fire dynamics ekv 3.5-3.6 samt tab 3.3	1 m ² transformatorolja som brinner -> en cirkel med r= 1,12838. Ekv 3,6 Enclosure -> mprickbiz =0,039*(1-e ^{-0,7*1,12838})=0,0212977. Qprick (ekv 3.5)= 0,0212977*0,7*1*46,4=700kw=700 kw/m ²
Lysrörsarmatur	0,5	1	100	200		Egen uppskattning	
Rökkanal	1	10	50	1000		Som eldstad	
Lysrör	0,05	0,01	20	100		Egen uppskattning	
Tvättmaskin	1	1,5	700	1000		Ca 20 kg plast	

Bilaga C

I följande bilaga redovisas hur lognormalfördelningsparametrarna för brandskadeområdena har tagits fram. Först redovisas Allmän byggnad – Handel därefter Allmän byggnad – Idrottsanläggning och slutligen Industri – Lager.

Förkortningar	Innebörd
Antal_AB	Antal bränder då branden spred sig till annan byggnad
Antal_SBR	Antal bränder i startbrandcellen
Antal_SBY	Antal bränder i startbyggnaden
Antal_SF	Antal bränder i startföremål
Antal_SU	Antal bränder i startutrymme

Area m2, Handel	Skadeområde	Antal_AB	Antal_SBR	Antal_SBY	Antal_SF	Antal_SU	Antal_tot	Andel	Area_uniform	p*x_medel
0-25	0-5	0	16	9	1425	175	1625	0,72	3	1,8
25-50	5-7	1	25	32	0	142	200	0,09	6	0,5
50-75	7-8	0	16	6	0	47	69	0,03	8	0,2
75-100	8-10	0	29	30	0	49	108	0,05	9	0,4
100-500	10-21	7	30	53	8	42	140	0,06	16	1,0
500-1000	21-30	2	13	17	0	24	56	0,02	26	0,6
1000-5000	30-70	1	13	16	0	19	49	0,02	50	1,1
5000-10000	70-95	0	0	0	0	0	0	0,00	83	0,0
10000-150000	95-370	0	0	0	0	0	0	0,00	233	0,0
							2247		väntevärde	5,7
x_uniform	f_antal	f*x	f*x^2	Lognorm						
3	1633	4083	10206	sigma		1,05				
6	200	1200	7200	väntev.		1,18				
8	69	518	3881							
9	108	972	8748							
16	132	2046	31713							
26	56	1428	36414	E(x)		5,7				
50	49	2450	122500	X_95		18,5				
83	0	0	0	X_99,5		49,4				
233	0	0	0							
	2247	12696	220663							
	s=	8,1								
							5,70	fördelning över Area uniform		

Area m2, Idrottsanläggning	Skadeområde skola	Antal_AB	Antal_SBR	Antal_SBY	Antal_SF	Antal_SU	Antal_tot	Andel	Area_uniform	p*x_medel
0-25	0-10	0	11	1	369	78	459	0,81	5	4,1
25-50	10-12	0	9	6	0	20	35	0,06	11	0,7
50-75	12-14	0	1	4	0	4	9	0,02	13	0,2
75-100	14-16	0	3	9	0	2	14	0,02	15	0,4
100-500	16-30	1	2	11	0	7	21	0,04	23	0,9
500-1000	30-36	1	3	5	0	6	15	0,03	33	0,9
1000-5000	36-65	1	4	4	0	2	11	0,02	36	0,7
5000-10000	65-85	0	0	2	0	0	2	0,00	75	0,3
10000-150000	85-230	0	0	0	0	0	0	0,00	158	0,0
							566		väntevärde	8,0
beräkning av standardavvikelse										
x_area	f_antal	f*x	f*x^2	Lognorm						
5	459	2295	11475	sigma		0,84				
11	35	385	4235	väntev.		1,73				
13	9	117	1521							
15	14	210	3150							
23	21	483	11109							
33	15	495	16335	E(x)		8,0				
36	11	391	13863	X_95		22,3				
75	2	150	11250	X_99,5		48,7				
158	0	0	0							
	566	4526	72938							
	s=	8,1								
							8,00	fördelning över Area, skola		

Area m2, Lager	Skadeområde	Antal_AB	Antal_SBR	Antal_SBY	Antal_SF	Antal_SU	Antal_tot	Andel	Area_uniform	p*x_medel
0-25	0-20	0	4	12	281	60	357	0,61	10	6,1
25-50	20-30	0	7	6	0	21	34	0,06	25	1,5
50-75	30-35	0	1	4	0	8	13	0,02	33	0,7
75-100	35-40	1	2	18	0	7	28	0,05	38	1,8
100-500	40-90	3	10	21	0	23	57	0,10	65	6,4
500-1000	90-130	3	3	18	0	13	37	0,06	110	7,0
1000-5000	130-300	5	4	24	0	9	42	0,07	215	15,5
5000-10000	300-420	2	4	4	0	3	13	0,02	360	8,0
10000-150000	420-1720	1	0	1	0	0	2	0,00	1070	3,7
							583		väntevärde	50,6
x_uniform	f_antal	f*x	f*x^2	Lognorm						
10	357	3570	35700	sigma	1,23					
25	34	850	21250	väntev.	3,17					
33	13	423	13731							
38	28	1050	39375							
65	57	3705	240825							
110	37	4070	447700	E(x)	50,6					
215	42	9030	1941450	X_95	179,5					
360	13	4680	1684800	X_99,5	561,9					
1070	2	2140	2289800							
	583	29518	6714631	50,63 fördelning över Areal uniform						
	s=	94,7								

Bilaga D

I följande bilaga redovisas framtagandet av fördelningar för startföremålen och effektutveckling för respektive byggnadskategori.

Tabellen visar startföremålen för *Allmän byggnad - Handel*. Observera att tabellen fortsätter på nästföljande sida. Det som redovisas i tabellen är de olika startföremålen och vilken omfattning de hade vid räddningstjänstens ankomst samt antalet bränder i respektive omfattning. Därefter redovisas brändernas minsta, medel och maximala effektutveckling. Därefter redovisas kategorierna som effektutvecklingen delas upp i. I dessa kategorier placeras därefter bränderna in efter dess omfattning vid räddningstjänstens ankomst. Den sista kolumnen i tabellen visar antalet bränder i respektive kategori.

Startföremål - Handel	Omfattning vid ankomst	Antal	IDA	Startföremål	HRR_Min	HRR/A_med.	HRR_Max	Kategori	Antal_med.	Antal_min	Antal_max	Antal_tot
Kaffebruggare	Bränden släckt/slocknad	11	22	Kaffebruggare	5	22	50	150	63	277	31	371
	Endast rökutveckling	8		Strykjärn	10	23	40	300	164	139	14	317
	I startföremålet	3		Lysrör	10	26	50	450	151	49	48	248
Strykjärn	Bränden släckt/slocknad	2	3	Glödlampa	10	47	50	600	9	19	23	51
	I startföremålet	1		Bastuaggregat	100	167	200	750	20	4	0	24
Lysrör	Bränden släckt/slocknad	34	108	Lysrörsarmatur	50	220	900	900	3	0	0	3
	Endast rökutveckling	54		Stereo/video	100	271	500	1050	0	0	51	51
	I startföremålet	20		Spis	100	300	500	1200	0	0	0	0
Glödlampa	Bränden släckt/slocknad	14	31	Andra elinstallationer	250	348	450	1350	42	0	0	42
	Endast rökutveckling	10		Dator	200	400	600	1500	40	8	2	50
	I startföremålet	7		TV	200	400	600	1650	0	0	0	0
Bastuaggregat	Bränden släckt/slocknad	2	4	Rökkanal	50	413	1000	1800	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1		Eldstad	100	438	1000	1950	0	0	0	0
	I startföremålet	1		Uppvärmingsanordning	100	450	1000	2100	14	0	0	14
Lysrörsarmatur	Bränden släckt/slocknad	75	134	Fläkt/Annan vent.anl.	100	450	1000	2250	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	46		Diskmaskin	300	479	700	2400	0	0	0	0
	I startföremålet	13		Kläder	100	600	1500	2550	0	0	59	59
Stereo/video	Endast rökutveckling	1	1	Elcentral	250	675	1000	2700	13	0	0	13
	Bränden släckt/slocknad	87	179	Gardiner	250	750	1500	2850	0	0	17	17
	Endast rökutveckling	69		Tvättmaskin	700	854	1000	3000	20	0	11	31
	I startföremålet	22		Torktumlare	700	854	1000	3150	0	0	0	0
	I startutrymmet	1		Papper/kartong	50	1275	2500	3300	0	0	0	0
	Bränden släckt/slocknad	87	210	Brandfarlig gas	250	1375	2500	3450	26	0	0	26
	Endast rökutveckling	75		Expl. Ämne/sprängämne	250	1375	2500	3600	0	0	0	0
	I startföremålet	48		Soffa/fåtölj	300	1382	3000	3750	0	0	0	0
	Bränden släckt/slocknad	2	2	Skräp i container/motsvarande	400	1429	2500	3900	0	0	0	0
TV	Bränden släckt/slocknad	2	3	Kyl/frys	500	1433	2800	4050	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1		Annan lös inredning	200	2080	3000	4200	0	0	0	0
	I startföremålet	22		Brandfarlig vätska	250	2625	5000	4350	4	0	0	4
Rökkanal	Bränden släckt/slocknad	7	20	Maskin	350	2975	5600	4500	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	5		Transformator	350	2975	5600	4650	0	0	0	0
	I startföremålet	8		Lös inredning	170	3315	8500	4800	0	0	0	0
Eldstad	Bränden släckt/slocknad	6	15	Personbil	1500	4313	8500	4950	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	5		Övriga vägfordon	1500	5000	10000	5100	2	0	12	14
	I startföremålet	4						5250	0	0	0	0
Uppvärmingsanordning	Bränden släckt/slocknad	20	57					5400	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	24						5550	0	0	0	0
	I startföremålet	13						5700	0	0	11	11
Fläkt/Annan vent.anl.	Bränden släckt/slocknad	27	88					5850	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	45						6000	0	0	0	0
	I startföremålet	15						6150	0	0	0	0
Diskmaskin	Bränden släckt/slocknad	6	9					6300	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	3						6450	0	0	0	0
	I startföremålet	3						6600	0	0	0	0
Kläder	Bränden släckt/slocknad	3	9					6750	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	4						6900	0	0	0	0
	I startföremålet	1						7050	0	0	0	0
Elcentral	Bränden släckt/slocknad	20	44					7200	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	17						7350	0	0	0	0
	I startföremålet	6						7500	0	0	0	0
	I startutrymmet	1						7650	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1	1					7800	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	2	4					7950	0	0	0	0
Torktumlare	I startföremålet	2						8100	0	0	0	0
	Bränden släckt/slocknad	3	7					8250	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	2						8400	0	0	0	0
Papper/kartong	I startföremålet	2						8550	0	0	84	84
	Bränden släckt/slocknad	42	62					8700	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	5						8850	0	0	0	0
	I flera rum	1						9000	0	0	0	0
	I startföremålet	13						9150	0	0	0	0
	I startutrymmet	1						9300	0	0	0	0
Brandfarlig gas	I startföremålet	2	2					9450	0	0	0	0
	Bränden släckt/slocknad	1	5					9600	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	3						9750	0	0	0	0
Expl. Ämne/sprängämne	I startföremålet	1						9900	0	0	0	0
	Bränden släckt/slocknad	2	3					10050	0	0	3	3
	I startföremålet	1						10200	0	0	0	0
Soffa/fåtölj	Bränden släckt/slocknad	14	69					10350	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	13							571	496	366	1433

	I startföremålet	40											
	I startutrymmet	2											
Kyl/frys	Branden släckt/slocknad	23	59										
	Endast rökutveckling	19											
	I startföremålet	16											
	I startutrymmet	1											
Annan lös inredning	Branden släckt/slocknad	14	27										
	Endast rökutveckling	3											
	I flera rum	1											
	I startföremålet	7											
	I startutrymmet	2											
Brandfarlig vätska	Branden släckt/slocknad	13	28										
	Endast rökutveckling	3											
	I startföremålet	12											
Maskin	Branden släckt/slocknad	6	32										
	Endast rökutveckling	20											
	I startföremålet	5											
	I startutrymmet	1											
Transformator	Branden släckt/slocknad	14	35										
	Endast rökutveckling	16											
	I startföremålet	5											
Lös inredning	Branden släckt/slocknad	26	126										
	Endast rökutveckling	33											
	I startföremålet	65											
	I startutrymmet	2											
Personbil	Branden släckt/slocknad	4	26										
	Endast rökutveckling	5											
	I startföremålet	16											
	I startutrymmet	1											
Övriga vägfordon	Branden släckt/slocknad	2	8										
	Endast rökutveckling	3											
	I startföremålet	2											
	I startutrymmet	1											

Tabellen nedan visar startföremålen för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning*.

Startföremål	Omfattning vid ankomst	Antal	IDA	Startföremål	HRR_min	HRR/A_med	HRR_max	Kategori	Antal_med.	Antal_min	Antal_max	N_tot	
Idrottsanläggning													
Andra elinstallationer	Branden släckt/slocknad	19	41	Andra elinstallationer	250	348	450	150	7	108	5	120	
	Endast rökutveckling	13		Bastuaggregat	100	167	200	300	54	31	13	98	
	I startföremålet	9		Brandfarlig vätska	250	2625	5000	600	4	0	7	11	
Bastuaggregat	Branden släckt/slocknad	29	90	Gardiner	250	750	1500	750	3	5	0	8	
	Endast rökutveckling	50		Lysrör	10	26	50	900	4	0	0	4	
	I startföremålet	11		Lös inredning	170	3315	8500	1050	0	0	14	14	
Brandfarlig vätska	Branden släckt/slocknad	2	4	Papper/kartong	50	1275	2500	1200	0	0	0	0	
	I startföremålet	2		Skräp i container/motsvarande	400	1429	2500	1350	16	0	0	16	
Gardiner	Branden släckt/slocknad	1	2	Kläder	100	600	1500	1500	3	0	3	6	
	I startföremålet	1		Uppvärmningsanordning	100	450	1000	1650	0	0	1	1	
Lysrör	Branden släckt/slocknad	4	17	Annan lös inredning	200	2080	3000	1800	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	10		Dator	200	400	600	1950	0	0	0	0	
	I startföremålet	3		Kaffebryggare	5	22	50	2100	7	0	0	7	
Lös inredning	Branden släckt/slocknad	8	23	Spis	100	300	500	2250	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	9		Personbil	1500	4313	8500	2400	0	0	0	0	
	I startföremålet	6		Expl. Ämne/sprängämne	250	1375	2500	2550	0	0	9	9	
Papper/kartong	Branden släckt/slocknad	16	22	Säng	700	1125	1600	2700	2	0	0	2	
	Endast rökutveckling	2		Eldstad	100	438	1000	2850	0	0	1	1	
	I startföremålet	4		Maskin	350	2975	5600	3000	4	0	6	10	
Skräp i container/motv.	Branden släckt/slocknad	2	7	Lysrörsarmatur	50	220	300	3150	0	0	0	0	
	I startföremålet	5		Elcentral	250	675	1000	3300	0	0	0	0	
Kläder	Branden släckt/slocknad	3	7	Fläkt/Annan vent.anl.	100	450	1000	3450	8	0	0	8	
	Endast rökutveckling	2		Glödlampa	10	47	50	3600	0	0	0	0	
	I startföremålet	2		Övriga vägfordon	1500	5000	10000	3750	0	0	0	0	
Uppvärmningsanordning	Branden släckt/slocknad	8	23	Torktumlare	700	854	1000	3900	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	11		Tvättmaskin	700	854	1000	4050	0	0	0	0	
	I startföremålet	4		Rökkanal	50	413	1000	4200	0	0	0	0	
Annan lös inredning	Branden släckt/slocknad	7	14	Kyl/frys	500	1433	2800	4350	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	1		Stereo/video/DVD	100	271	500	4500	0	0	0	0	
	I startföremålet	5		Transformator	350	2975	5600	4650	0	0	0	0	
	I startutrymmet	1		Diskmaskin	300	479	700	4800	0	0	0	0	
Dator	Endast rökutveckling	1	2					4950	0	0	0	0	
	I startföremålet	1						5100	0	0	2	2	
Kaffebryggare	Branden släckt/slocknad	1	1					5250	0	0	0	0	
Spis	Branden släckt/slocknad	8	17					5400	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	4						5550	0	0	0	0	
	I startföremålet	5						5700	0	0	1	1	
Personbil	I startföremålet	1	1					5850	0	0	0	0	
Expl. Ämne/sprängämne	Endast rökutveckling	1	1					6000	0	0	0	0	
Säng	I startföremålet	1	1					6150	0	0	0	0	
Eldstad	Endast rökutveckling	3	4					6300	0	0	0	0	
	I startföremålet	1						6450	0	0	0	0	
Maskin	Branden släckt/slocknad	4	8					6600	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	3						6750	0	0	0	0	
	I startföremålet	1						6900	0	0	0	0	
Lysrörsarmatur	Branden släckt/slocknad	17	34					7050	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	15						7200	0	0	0	0	
	I startföremålet	2						7350	0	0	0	0	
Elcentral	Branden släckt/slocknad	2	12					7500	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	6						7650	0	0	0	0	
	I startföremålet	4						7800	0	0	0	0	
Fläkt/annan vent.anlägg.	Branden släckt/slocknad	3	13					7950	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	9						8100	0	0	0	0	
	I startföremålet	1						8250	0	0	0	0	
Glödlampa	Branden släckt/slocknad	2	5					8400	0	0	0	0	
	Endast rökutveckling	1						8550	0	0	7	7	
	I startföremålet	2						8700	0	0	0	0	

Övriga vägfordon	I startföremålet	1	1						8850	0	0	0	0
Torktumlare	Branden släckt/sloknad	3	8						9000	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	2							9150	0	0	0	0
	I startföremålet	3							9300	0	0	0	0
Tvättmaskin	Branden släckt/sloknad	1	5						9450	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	3							9600	0	0	0	0
	I startföremålet	1							9750	0	0	0	0
Rökkanal	Endast rökutveckling	1	1						9900	0	0	0	0
Kyl/frys	Branden släckt/sloknad	1	2						10050	0	0	1	1
	I startföremålet	1							10200	0	0	0	0
Stereo/video/DVD	I startföremålet	1	1							142	148	79	369
Transformator	Endast rökutveckling	1	1										
Diskmaskin	Branden släckt/sloknad	1	1										

Tabellen nedan visar startföremålen för *Industri – Lager*.

Startföremål - Lager	Omfattning vid ankomst	Antal	IDA	Startföremål	HRR_Min	HRR/A_med.	HRR_Max	Kategori	Antal_med.	Antal_min	Antal_max	N_tot
Eldstad	Endast rökutveckling	2	5	Eldstad	100	438	1000	150	5	42	3	50
	I startföremålet	3		Papper/kartong	50	1275	2500	300	15	28	3	46
Papper/kartong	Branden släckt/sloknad	2	9	Lös inredning	170	3315	8500	450	34	18	8	60
	I startföremålet	7		Annan lös inredning	200	2080	3000	600	0	0	2	2
Lös inredning	Branden släckt/sloknad	5	30	Brandfarlig vätska	250	2625	5000	750	7	3	0	10
	Endast rökutveckling	2		Skräp i container/motsvarande	400	1429	2500	900	1	0	0	1
	I startföremålet	23		Fläkt/Annan vent.anl.	100	450	1000	1050	0	0	12	12
Annan lös inredning	Branden släckt/sloknad	1	9	Andra elinstallationer	250	348	450	1200	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	4		Spis	100	300	500	1350	2	0	0	2
	I startföremålet	4		Övriga vägfordon	1500	5000	10000	1500	2	1	0	3
Brandfarlig vätska	Branden släckt/sloknad	1	3	Bastuaggregat	100	167	200	1650	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1		Dator	200	400	600	1800	0	0	0	0
	I startföremålet	1		Brandfarlig gas	250	1375	2500	1950	0	0	0	0
Skräp i container/motsv.	Branden släckt/sloknad	1	12	Elcentral	250	675	1000	2100	1	0	0	1
	Endast rökutveckling	3		Maskin	350	2975	5600	2250	0	0	0	0
	I startföremålet	8		Uppvärmningsanordning	100	450	1000	2400	0	0	0	0
Fläkt/annan vent.anlägg	Branden släckt/sloknad	9	23	Torktumlare	700	854	1000	2550	0	0	18	18
	Endast rökutveckling	11		Glödlampa	10	47	50	2700	1	0	0	1
	I startföremålet	3		Personbil	1500	4479	8500	2850	0	0	1	1
Andra elinstallationer	Branden släckt/sloknad	16	41	Expl. Ämne/sprängämne	250	1375	2500	3000	17	0	4	21
	Endast rökutveckling	17		Kaffebruggare	5	22	50	3150	0	0	0	0
	I startföremålet	8		Kyl/frys	500	1433	2800	3300	0	0	0	0
Spis	Branden släckt/sloknad	6	15	Transformator	350	2975	5600	3450	5	0	0	5
	Endast rökutveckling	7		Lysrörsarmatur	50	220	300	3600	0	0	0	0
	I startföremålet	2		Rökkanal	50	413	1000	3750	0	0	0	0
Övriga vägfordon	Branden släckt/sloknad	1	7	Lysrör	10	26	50	3900	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1		Tvättmaskin	700	854	1000	4050	0	0	0	0
	I startföremålet	5						4200	0	0	0	0
Bastuaggregat	Branden släckt/sloknad	2	2					4350	0	0	0	0
Dator	Branden släckt/sloknad	1	2					4500	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1						4650	0	0	0	0
Brandfarlig gas	I startföremålet	1	1					4800	0	0	0	0
	Branden släckt/sloknad	7	10					4950	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	3						5100	1	0	1	2
Maskin	Branden släckt/sloknad	14	39					5250	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	13						5400	0	0	0	0
	I startföremålet	11						5550	0	0	0	0
	I startutrymmet	1						5700	0	0	12	12
Uppvärmningsanordning	Branden släckt/sloknad	8	19					5850	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	6						6000	0	0	0	0
	I startföremålet	5						6150	0	0	0	0
Torktumlare	Branden släckt/sloknad	1	2					6300	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	1						6450	0	0	0	0
Glödlampa	I startföremålet	1	1					6600	0	0	0	0
Personbil	I startföremålet	5	6					6750	0	0	0	0
	I startutrymmet	1						6900	0	0	0	0
Expl. Ämne/sprängämne	I startföremålet	2	2					7050	0	0	0	0
Kaffebruggare	Branden släckt/sloknad	2	3					7200	0	0	0	0
	I startföremålet	1						7350	0	0	0	0
Kyl/frys	Branden släckt/sloknad	1	2					7500	0	0	0	0
	I startföremålet	1						7650	0	0	0	0
Transformator	Branden släckt/sloknad	3	5					7800	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	2						7950	0	0	0	0
Lysrörsarmatur	Branden släckt/sloknad	7	20					8100	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	10						8250	0	0	0	0
	I startföremålet	3						8400	0	0	0	0
Rökkanal	I startföremålet	1	1					8550	0	0	29	29
Lysrör	Branden släckt/sloknad	3	10					8700	0	0	0	0
	Endast rökutveckling	6						8850	0	0	0	0
	I startföremålet	1						9000	0	0	0	0
Tvättmaskin	Endast rökutveckling	2	2					9150	0	0	0	0
								9300	0	0	0	0
								9450	0	0	0	0
								9600	0	0	0	0
								9750	0	0	0	0
								9900	0	0	0	0
								10050	0	0	5	5
								10200	0	0	0	0
								10350	0	0	0	0
									91	92	98	281

Bilaga E

I följande bilaga redovisas lognormalfördelningsparametrarna för effektutvecklingen för respektive byggnadskategori. Först presenteras Allmän byggnad - Handel, därefter Allmän byggnad - Idrottsanläggning och slutligen Industri - Lager.

De två kommande tabellerna redovisar lognormalfördelningsparametrarna för Allmän byggnad - Handel för respektive effektutveckling per kvadratmeter.

Area_uni, Handel	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Tot.antal	Andel	p*x_HRR
2,5	0,25	0,6	200	987	1187	0,53	0,33
6	0,25	1,5	200	170	370	0,16	0,25
7,5	0,25	1,9	69	0	69	0,03	0,06
9	0,25	2,3	108	14	122	0,05	0,12
15,5	0,25	3,9	132	146	278	0,12	0,48
25,5	0,25	6,4	56	29	85	0,04	0,24
50	0,25	12,5	49	87	136	0,06	0,76
82,5	0,25	20,6	0	0	0	0,00	0,00
232,5	0,25	58,1	0	0	0	0,00	0,00
					2247	väntevärde	2,23
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
0,6	1187	742	464		sigma	1,01	
1,5	370	555	833		väntev.	0,29	
1,9	69	129	243				
2,3	122	275	618				
3,9	278	1077	4174				
6,4	85	542	3454		E(x)	2,2	
12,5	136	1700	21250		X_95	7,1	
20,6	0	0	0		X_99,5	18,1	
58,1	0	0	0				
	2247	5020	31035				
	s=	3,0			2,23	fördelning över HRR, 250	
Area_uni, Handel	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Antal_tot	Andel	p*x_HRR
2,5	0,54	1,3	200	1063	1265	0,56	0,75
6	0,54	3,2	200	226	426	0,19	0,61
7,5	0,54	4,0	69	26	95	0,04	0,17
9	0,54	4,8	108	4	112	0,05	0,24
15,5	0,54	8,3	132	25	157	0,07	0,58
25,5	0,54	13,6	56	87	143	0,06	0,87
50	0,54	26,8	49	0	49	0,02	0,58
82,5	0,54	44,1	0	0	0	0,00	0,00
232,5	0,54	124,4	0	0	0	0,00	0,00
					2247	väntevärde	3,80
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
1,3	1265	1692	2263		sigma	0,97	
3,2	426	1367	4390		väntev.	0,86	
4,0	95	381	1530				
4,8	112	539	2597				
8,3	157	1302	10796				
13,6	143	1951	26615		E(x)	3,8	
26,8	49	1311	35063		X_95	11,7	
44,1	0	0	0		X_99,5	28,9	
124,4	0	0	0				
	2247	8543	83252				
	s=	4,8			3,80	fördelning över HRR, 535	

De två kommande tabellerna redovisar lognormalfördelningsparametrarna för *Allmän byggnad - Idrottsanläggning* för respektive effektutveckling per kvadratmeter.

Area_skola,uni, Idrottsanläggning	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Tot.antal	Andel	p*x_HRR
5	0,25	1,3	90	298	388	0,69	0,86
11	0,25	2,8	35	41	76	0,13	0,37
13	0,25	3,3	9	11	20	0,04	0,11
15	0,25	3,8	14	8	22	0,04	0,15
23	0,25	5,8	21	3	24	0,04	0,24
33	0,25	8,3	15	0	15	0,03	0,22
35,5	0,25	8,9	11	7	18	0,03	0,28
75	0,25	18,8	2	1	3	0,01	0,10
157,5	0,25	39,4	0	0	0	0,00	0,00
					566	väntevärde	2,33
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
1,3	388	485	606		sigma	0,82	
2,8	76	209	575		väntev.	0,51	
3,3	20	65	211				
3,8	22	83	309				
5,8	24	138	794				
8,3	15	124	1021		E(x)	2,3	
8,9	18	160	1418		X_95	6,4	
18,8	3	56	1055		X_99,5	13,7	
39,4	0	0	0				
	566	1319	5989				
	s=	2,3			2,33	fördelning över HRR, 250	
Area_skola,uni, Idrottsanläggning	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Tot.antal	Andel	p*x_HRR
5	0,5	2,5	90	328	418	0,74	1,85
11	0,5	5,5	35	32	67	0,12	0,65
13	0,5	6,5	9	1	10	0,02	0,11
15	0,5	7,5	14	0	14	0,02	0,19
23	0,5	11,5	21	8	29	0,05	0,59
33	0,5	16,5	15	0	15	0,03	0,44
35,5	0,5	17,8	11	0	11	0,02	0,34
75	0,5	37,5	2	0	2	0,00	0,13
157,5	0,5	78,8	0	0	0	0,00	0,00
					566	väntevärde	4,30
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
2,5	418	1045	2613		sigma	0,81	
5,5	67	369	2027		väntev.	1,13	
6,5	10	65	423				
7,5	14	105	788				
11,5	29	334	3835				
16,5	15	248	4084		E(x)	4,3	
17,8	11	195	3466		X_95	11,7	
37,5	2	75	2813		X_99,5	24,8	
78,8	0	0	0				
	566	2435	20046				
	s=	4,1			4,30	fördelning över HRR, 500	

Den kommande tabellen redovisar lognormalfördelningsparametrarna för *Industri - Lager* för den aktuella effektutvecklingen per kvadratmeter.

Area_uni, Lager	HRRPUA	HRR	Antal	Antal SF	Tot.antal	Andel	p*x_HRR
10	1	10,0	76	281	357	0,61	6,12
25	1	25,0	34	0	34	0,06	1,46
32,5	1	32,5	13	0	13	0,02	0,72
37,5	1	37,5	28	0	28	0,05	1,80
65	1	65,0	57	0	57	0,10	6,36
110	1	110,0	37	0	37	0,06	6,98
215	1	215,0	42	0	42	0,07	15,49
360	1	360,0	13	0	13	0,02	8,03
1070	1	1070,0	2	0	2	0,00	3,67
					583	väntevärde	50,63
x_HRR	f_antal	f*x	f*x^2		Lognorm		
10	357	3570	35700		sigma	1,23	
25	34	850	21250		väntev.	3,17	
32,5	13	423	13731				
37,5	28	1050	39375				
65	57	3705	240825				
110	37	4070	447700		E(x)	50,6	
215	42	9030	1941450		X_95	179,5	
360	13	4680	1684800		X_99,5	561,9	
1070	2	2140	2289800				
	583	29518	6714631				
	s=	94,7			50,63	fördelning över HRR, 1000	