

Dimensionerande lokal brand

- En kartläggning och analys av dimensioneringsmetodens
svårigheter och problem

Charlotte Berggren

Erika Parfors

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5437, Lund 2014

Dimensionerande lokal brand

- en kartläggning och analys av dimensioneringsmetodens svårigheter och problem

**Charlotte Berggren
Erika Parfors**

Lund 2014

Titel: Dimensionerande lokal brand – En kartläggning och analys av dimensioneringsmetodens svårigheter och problem.
Title: Local Fire Design - A survey and analysis of the design method's difficulties and problems.

Charlotte Berggren, Erika Parfors

Report 5437

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—5437--SE

Number of pages: 124

Keywords

Local Fire Design, design method, Br2-hall buildings, Eurocode, fire parameters, steel temperature, steel constructions, regression analysis, fire design of building structures, critical resistance, cargo load factor, heat release rate.

Sökord

Dimensionerande lokal brand, dimensioneringsmetod, Br2-Hallbyggnad, EKS 9, Eurokod, Brandens parametrar, ståltemperatur, stålkonstruktioner, regressionsanalys, brandteknisk dimensionering av bärverk, kritisk bärförmåga, lastutnyttjandegrad, effektutveckling.

Abstract

It is an on-going debate in the business of fire protection engineering in Sweden whether steel construction in hall buildings (building class Br2) can be performed without technical fire classification or not. The building code, EKS 9, gives some restrictions and methods to determine this and one of these methods is the local fire (Swedish standards institute (1), 2007) which is evaluated and analyzed in this master thesis.

The aim with this master thesis is to identify difficulties with the method and to determine which parameters of both fire and construction are central for the design of fire protection and also to evaluate the parameters of the local fire for which the design method is most sensitive to. A further goal is to develop a guide for the local fire design method and to perform a case study to apply the developed guidance for a certain type of hall building.

It is especially the distance between the local fire and the construction that is important to be aware of when the local fire design method should be used. Other parameters like diameter and heat release rate per unit area are also important to keep in mind when conducting the method.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,
Lund 2014.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

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

Sammanfattning

Det pågår en intensiv debatt inom branschen brandskyddsprojektering huruvida stålbärverk i Br2-hallbyggnader kan dimensioneras utan formell brandteknisk klass eller inte. EKS 9 anger metoder för att bestämma byggnadsdelars brandtekniska klass utifrån brandsäkerhetsklasser. En av dessa metoder är lokal brand, vilken kan användas då det kan visas att sannolikheten för övertändning i hallbyggnaden understiger 0,5 procent. I denna rapport har det kartlagts vilka svårigheter som dimensioneringsmetoden innebär samt vilka osäkerheter och känsligheter det finns i modellen lokal brand.

Under de intervjuer som genomfördes framgick det tydligt att det råder stora meningsskiljaktigheter samt tvivelaktigheter hos olika aktörer i branschen, inte bara kring dimensioneringsmetoden lokal brand utan också kring regelverkets, EKS, utformning samt hur sannolikheten för övertändning ska visas. Det finns aktörer på marknaden som tycker att kraven som ställs i EKS inte är ekonomiskt försvarbara. De antaganden kring den lokala brandens parametrar som måste göras för att kunna använda metoden anses vara svåra och för många, vilket medför stora osäkerheter i beräkningar. Några exempel på osäkerheter är hur den lokala brandens brandförlopp ska se ut, vart i lokalen denna ska placeras samt hur hänsyn ska tas till ett automatiskt sprinklersystem i beräkningar.

Utredningar genom simuleringar och regressionsanalyser har utförts på den lokala brandens parametrar samt parametrar hos stål för att utreda vilken av dessa som har störst påverkan på stålbärverket samt vilken eller vilka som är avgörande för att uppnå erfordrad skyddsnivå och möta de krav som ställs i EKS 9.

Simuleringarna gjordes i ett simuleringsprogram, TCD, för värmeledning och mekanisk analys. Brandens parametrar varierades och användes i olika kombinationer för att simuleras på en given stålprofil, i detta fall en VKR-profil med måtten 90x90x5 millimeter, med ståltemperaturen över tiden som resultat. Maxtemperaturerna för respektive simulering användes sedan i regressionsanalysen med vilken ett uttryck, se nedan, kunde tas fram för att bestämma maxtemperaturen i stålet med avseende på följande parametrar: effektutveckling per kvadratmeter, HRRPUA, brandens diameter, D, avståndet från flammans bas till konstruktionsdelen, z samt stålets godstjocklek.

$$T_{\max} = 1042 * HRRPUA^{0,6} * D^{0,8} * z^{-1,1} * GT^{-0,01}$$

Resultatet från datorsimuleringar och regressionsanalysen visade att avståndet från flammans bas till konstruktionen, z, samt diametern, D, hade störst betydelse för den maximala ståltemperaturen. Dessa parametrar är extra viktiga att ta hänsyn till då dimensioneringsmetoden lokal brand ska användas.

Utifrån resultat från kartläggning, datasimuleringar och regressionsanalys samt ovanstående uttryck har ett tillvägagångssätt för dimensioneringsmetoden tagits fram vilket sedan har tillämpats samt analyserats på en exempelbyggnad, ett köpcentrum i byggnadsteknisk klass Br2. Uttrycket är tänkt att användas i ett tidigt skede i dimensioneringsprocessen för att ge konsulten en uppfattning om vilket brandskydd som kommer att behövas i Br2-hallbyggnaden.

Förord

En sammanfattning av de känslor som ska beskrivas i ett förord till den största rapport till lika den sista som har producerats under författarnas utbildning är oerhört svårt att skapa. Vi har alltid siktat högt och brett vilket innebär mycket arbete innan ett resultat kan skrivas ned på en rimlig mängd papper. Men nu är vi här och det är vi glada för.

Examensarbetet har genomförts vid Lunds Tekniska Högskola på avdelningen för Brandteknik och Riskhantering samt på Fire Safety Design Göteborg. Vi har flera personer att tacka för delaktighet och stöd under arbetets gång och författarna vill rikta ett stort tack till:

Sin handledare som varit behjälplig trots kort varsel och som gett värdefulla kommentarer under arbetets gång, **Nils Johansson**, PhD-student vid avdelningen för brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.

Handledare nummer två som initierade arbetet och som trots mycket eget arbete har gett värdefulla kommentarer under resans gång, **Pär Hansson**, VD och Brandingenjör på FSD Göteborg AB

Stort tack till **Sebastian Jeansson**, Civilingenjör FSD Malmö AB, som har delat med sig av sin kunskap kring konstruktioner, arbetssätt samt övriga tekniska bitar.

Tack till **Martin Nilsson**, PhD student vid avdelningen för brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola samt brandingenjör på Boverket, för värdefulla kommentarer vid arbetets uppstart.

Samtliga personer nedan ska ha ett stort tack för att de har tagit sig tid att diskutera och ge sina åsikter kring ämnet. Ni ska alla veta att samtliga intervjuer har varit mycket trevliga och lärorika.

Fredrik Lovén, FSD Göteborg AB

Thomas Järphag, NCC Teknik

Cedrik Persson, Bengt Dahlgren

Peter Arnevall, Uppsala Brandförsvär

Kjell Fahlqvist och Oscar Lövgren Ferraz, Brandkonsulten AB Stockholm

Johan Lundin, WSP

Jörgen Thor, Brandskyddslaget

Fredrik Lindblad, Lars Fektenberg och Peter Gustafsson, Llentab

Björn Mattsson, Boverket

Lund, November 2013

Charlotte Berggren & Erika Parfors

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Begrepp och definitioner	5
1.3	Problemformulering	6
1.4	Avgränsningar	6
1.5	Metod	7
2.	Regelmässiga förutsättningar	9
2.1	Kap. 1.1.2 – Tillämpning av EN 1991-1-2 – Termisk och mekanisk verkan av brand (EKS 9).....	9
2.2	Standard: SS-EN 1991-1-2, Bilaga C.....	10
2.3	BBRAD	12
3.	Teoretisk bakgrund.....	13
3.1	Hallbyggnader	13
3.2	Stålkonstruktioner	13
3.3	Lokal brand	18
3.4	Mekanisk analys.....	19
4.	Kartläggning av svårigheter med dimensioneringsmetoden	20
4.1	Diskussion om meningsskiljaktigheter.....	20
4.2	Diskussion angående ekvationer i standarden SS-EN 1991-1-2.....	27
5.	Enskilda parametrars påverkan på ståltemperaturen	29
5.1	Tillvägagångssätt simuleringar	29
5.2	Tillväxthastighet – simulering 1	31
5.3	HRRPUA – simulering 2.....	34
5.4	Avstånd mellan flammans bas och konstruktion, z – simulering 3.....	35
5.5	Varaktighet – simulering 4	38
5.6	Diameter – simulering 5	40
5.7	Maximal effektutveckling – simulering 6	42
5.8	Godstjocklek – simulering 7	43
5.9	Stålprofil – simulering 8.....	44
5.10	Slutsatser från kapitel 5.2-5.9.....	46
6.	Samverkande påverkan på ståltemperatur	48
6.1	Regressionsanalys	48
6.2	Känslighet i maximal ståltemperatur utifrån ekvation 6.5a	54

6.3 Parametrars samverkande påverkan på ståltemperaturen.....	55
7. Resultat/metod för att använda lokal brand.....	58
7.1 Bestäm verksamhet.....	59
7.2 Fastställ byggnadens geometri.....	59
7.3 Lokalisera och bestäm dimensionerande brand/bränder.....	59
7.4 Tekniska system.....	60
7.5 Brandens placering.....	60
7.6 Bestäm konstruktionstyp.....	60
7.7 Är den dimensionerande branden funnen?.....	60
7.8 Beräkna kritisk bärförmåga.....	60
8. Tillämpning av flödesschemat på en Br2-hallbyggnad.....	61
8.1 Exempelbyggnad X.....	61
8.2 Analys.....	61
9. Diskussion.....	70
9.1 Förtroende för EKS 9.....	70
9.2 Brandens parametrar.....	70
9.2.5 Sammanfattning av kombinationerna av de olika parametrarna.....	73
9.3 Tekniska system.....	74
9.4 F/A-värde och godstjocklek.....	74
9.5 Tillväxthastighet och standardbrandkurvan.....	75
9.6 Tredjepartsgranskning.....	75
9.7 Begränsningar och förenklingar.....	76
10. Slutsats.....	77
10.1 Uppfylls syfte och mål med rapporten?.....	79
11. Förslag till fortsatta studier.....	80
12. Litteraturförteckning.....	81
Bilaga A - Intervju.....	84
Bilaga B - Handberäkningar.....	88
Bilaga C - Beräkningsprogram.....	90
Bilaga D - Scriptfil.....	93
Bilaga E - Indata simuleringar.....	94
Bilaga F - Resultat simulering från exempelbyggnaden.....	96
Bilaga G - Parametrars samverkan på ståltemperaturen.....	100
Bilaga H - Indata Regressionsanalys.....	106

Bilaga I - Aktiveringstider för sprinkler.....	108
Bilaga J - Exempelbyggnaden.....	109
Bilaga K - Regressionsanalys kortare varaktighet	111

1. Inledning

Nedan beskrivs bakgrund, problemformulering, avgränsningar samt metod för examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Inom branschen för brandskyddsprojektering pågår just nu en intensiv debatt huruvida stålbärverk främst i tak, i Br2-byggnader i form av hallbyggnader, möjligtvis kan utföras utan formell brandteknisk klass (Boverket (1), 2012). Kostnaderna för att brandskyddsklassa balkar, men även pelare, i stål till brandteknisk klass R30 enligt EKS 9 är relativt höga. Det kan innebära så mycket som dubbla priset för ett takbärverk om detta måste brandskyddas.¹ Detta medför att beställare i sin tur vill att brandskyddsprojektören ska prova om det finns möjlighet att utforma vissa delar av konstruktionens brandskydd utan det nominella kravet med hjälp av alternativa dimensioneringsprinciper för att minimera kostnaderna. Brandskyddsprojektörens uppgift blir att bestämma om det ska vara brandsäkerhetsklass 3 på hela bärverket och om det finns möjlighet att visa genom alternativa dimensioneringsprinciper att exempelvis brandskyddsfärg eller inklädnad med gips går att undvika.

Ett stålbärverks förmåga att behålla sin lastbärande kraft vid brand beror av dess profil, godstjocklek samt vilken typ brand som den påverkas av. Enligt EKS 9 bör dimensionering ske för fullt utvecklad brand men om brandskyddsprojektören kan visa att sannolikheten för övertändning i en Br2- eller Br3-byggnad, givet brand, är mindre än 0,5 procent får bärverket dimensioneras för lokal brand (Boverket (2), 2013). Då beräknas i stället brandförloppet och temperaturutvecklingen med hänsyn till de förhållanden som kan uppstå i byggnaden där hänsyn bör tas till bränslets höjd samt placering i rummet. Genom att använda sig av dimensioneringsmetoden lokal brand kan brandskyddsprojektören reda ut om hela bärverket behöver skyddas eller om ett skydd som bestäms utifrån den lokala brandens påverkan kan vara fullgott och mer kostnadseffektivt. För att uppnå en kostnadseffektiv och samtidigt ur brandskyddssynpunkt bra lösning krävs dock kunskap om hur stålet påverkas vid olika typer av bränder samt vilka parametrar hos stål och brandskydd som styr kostnaderna.

BBRAD3, allmänt råd för analytisk dimensionering, kan användas för att verifiera bärförmåga vid brand enligt modell av naturligt brandförlopp. BBRAD3 kan också tillämpas vid avvikelser från de allmänna råden i avdelning C, kap 1.1.2 i Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (Boverket (3), 2013).

Brandteknisk klass i bärande avseende är beroende av vilken brandsäkerhetsklass byggnadsdelarna tillhör, vilken bestäms med hjälp av föreskrifter och allmänna råd i EKS 9. För Br2-byggnader kan brandsäkerhetsklassen bestämmas med hjälp av tabell C-2 och med vägledning i tabell C-4 och därefter bestäms den brandtekniska klassen med hjälp av tabell C-2. Kan det visas att sannolikheten för övertändning är mindre än 0,5 procent kan bärverkets brandskydd istället bestämmas av dimensioneringsmetoden lokal brand. Detta innebär att bärverket klarar av att motstå en viss lokal brand (Boverket (2), 2013).

¹ Thomas Järphag, Civilingenjör NCC Teknik, Intervju 2013-09-13.

I dagens läge uppstår problem då den lokala brandens omfattning ska bestämmas, eftersom dimensioneringsmetoden tolkas på olika sätt. Med omfattning menas brandens tillväxthastighet, varaktighet, spridning, avstånd till stålbärverk samt flamhöjd, flamtemperatur och diameter. Vilka delar av brandens omfattning som påverkar konstruktionens relativa bärförmåga, knäckning och hur olika godstjocklekar påverkar behöver utredas. Vilken lokal brand som är rimlig att använda sig av ska bestämmas med hänsyn till de förhållanden som kan förväntas uppstå i byggnaden enligt nionde paragrafen i avdelning C, kapitel 1.1.2 i EKS. Vägledningen för hur detta skall uppnås är i dagsläget oklar. Idag finns det ingen enhetlig metod för att bestämma dimensionerande lokala bränder. I ett stort perspektiv borde målet vara att byggnader ska förses med likvärdigt brandskydd oberoende av vem som utfört brandskyddsprojekteringen.

1.2 Begrepp och definitioner

BBR – Boverkets byggregler

BBRAD – Boverkets byggregler analytisk dimensionering

D – Brandens diameter [m]

Diskretiseras – Matematiskt uttryck som innebär att ett problem delas upp

EKS – Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)

GT – Godstjocklek

HRRPUA – Effektutveckling per areaenhet [MW/m^2]

Kritisk bärförmåga – Resterande bärförmåga hos konstruktionen givet att denna har blivit utsatt för temperaturpåfrestning

Kritisk temperatur – Temperaturen vid vilken brott vid en given lastnivå förväntas inträffa för en bärverksdel av stål med en jämn temperaturfördelning

Lastutnyttjandegrad – Hur mycket som respektive konstruktionsdel bär upp

L_f – Flamlängd [m]

Q – Effektutveckling [W]

\dot{Q} – Effektutveckling per kvadratmeter [W/m^2]

\dot{Q}_{FO} – Effektutveckling per kvadratmeter vid övertändning [W/m^2]

z – Avstånd mellan flammans bas och konstruktion [m]

Övertändningsbeviset – Processen som innebär att projektören har visat att det endast är 0,5 % sannolikhet för övertändning i lokalen.

1.3 Problemformulering

Nedan presenteras syfte, mål och frågeställningar.

1.3.1 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att kartlägga de svårigheter som finns när en dimensionerande lokal brand skall bestämmas. Syftet är dessutom att främja en enhetlig tillämpning av regelverket.

Målet är att utreda vilka parametrar hos både brand och konstruktion som är avgörande för utformningen av brandskyddet och dessutom utvärdera vilka parametrar hos den lokala branden som dimensioneringsmetoden är mest känslig för.

Ytterligare ett mål är att ta fram en vägledning för dimensioneringsmetoden lokal brand och i sin tur genomföra en fallstudie för att tillämpa den framtagna vägledningen för en viss typ av hallbyggnad.

1.3.2 Frågeställning

1. Vilka svårigheter finns med att ta fram en dimensionerande lokal brand för en hallbyggnad?
2. Vad får lov att göras inom ramen för EKS 9 samt vilka känslig- och osäkerheter finns det i modellen för lokal brand?
3. Vilka/vilken av den lokala brandens egenskaper har störst påverkan på stålbärverket?
4. Vilka parametrar hos branden och stålbärverket är avgörande för att uppnå erfordrad skyddsnivå?
5. Hur ska den dimensionerande lokala brandens egenskaper väljas för att utmana byggnadens brandskydd för att möta kraven som ställs i EKS 9?

1.4 Avgränsningar

- Br2-hallbyggnader antas vara utförda med stålkonstruktion. Sannolikheten för övertändning överstiger inte 0,5 procent, det vill säga förutsättningar att dimensionera för lokal brand uppfylls. Bevisföring för detta påstående är ej en del av denna rapport.
- Br2 hallbyggnader är en byggnad i ett plan.
- Främst takbärverket analyseras, mindre fokus ligger på pelare.
- Tekniska systems effekt på brandförlopp används i arbetet men analyseras ej.
- Alla beräkningar bygger på de ekvationer som används i Eurokods standard SS-EN 1991-1-2 (Swedish standards institute (1), 2007).
- Endast en typ av simuleringsprogram har använts förutom handberäkningar.
- Temperaturer är alltid mindre än eller lika med 900 °C och $\dot{Q} < \dot{Q}_{FO}$.

1.5 Metod

En översiktlig beskrivning av tillvägagångssättet som tillämpats för att besvara arbetets frågeställningar beskrivs nedan.

För att besvara examensarbetets frågeställningar delades arbetsmetoden grovt in i fyra huvudsakliga kategorier:

- Litteraturstudier som innebär studier av regelverk, diskussionsforum, publikationer, tidigare utredningar samt konsekvensutredningar som berör området.
- Intervjuer
- Datamodelleringar och beräkningar
- Sammanställning av resultat samt analys och slutsatser

I tabell 1.1 redovisas med vilken metod respektive frågeställning besvaras.

Tabell 1.1. Frågeställningar och metod för att besvara dessa.

Frågeställningar	Litteratur- studier	Intervjuer	Datamodelleringar och beräkningar	Sammanställning av resultat
Vilka svårigheter finns med att ta fram en dimensionerande lokal brand för en hallbyggnad?	X	X		X
Vad får lov att göras inom ramen för EKS 9 samt vilka känslig- och osäkerheter finns det i modellen för lokal brand?	X	X		X
Vilka/vilken av den lokala brandens egenskaper har störst påverkan på stålbärverket?	X		X	X
Vilka parametrar hos branden och stålbärverket är avgörande för att uppnå erfordrad skyddsnivå?	X		X	X
Hur ska den dimensionerande lokala brandens egenskaper väljas för att utmana byggnadens brandskydd för att möta kraven som ställs i EKS 9?		X	X	X

Arbetet började med att studera gällande regelverk, med utgångspunkt i Boverkets byggregler (BBR) samt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS. Samtidigt studerades tidigare examensarbeten inom ämnet samt litteratur i form av artiklar, handböcker och faktaböcker men även diskussionsforum.

För att få en bättre förståelse för problemet och dess bakgrund inom branschen och hur olika aktörer ser på dimensioneringsmetoden och användandet av den genomfördes ett tiotal semistrukturerade intervjuer både personligen och via telefon. Ett stödunderlag till intervjufrågor skapades utifrån vilket intervjuerna hölls och sedan sammanställdes.

Utifrån litteraturstudier, läsning på forum, artiklar och intervjuer kartlades sedan svårigheterna med dimensioneringsmetoden lokal brand. Kartläggningen användes sedan för att jämföra med regelverket, EKS, för att ta reda på vilka känsligheter och osäkerheter det finns i modellen för lokal brand just nu samt vad som egentligen får lov att göras inom ramen för EKS 9.

Därefter delades modellen för lokal brand in i olika delar med avseende på möjliga påverkande parametrar i Excel. Delarna med respektive parametrar varierades sedan och analyserades med en regressionsanalys för att ta reda på huruvida vissa hade större påverkan på modellen än andra. När de, för modellen, centrala parametrarna fastställts utfördes simuleringar i det finita elementprogrammet TempCalc (TCD), där dessa parametrar varierades på olika stålprofiler för att utvärdera känsligheten gentemot stålet. Detta ledde till att val av viktiga parametrar samt att en viss kvantifiering av dessa kunde göras utifrån påverkan på stålprofilerna.

Med utgångspunkt i resultatet från simuleringarna samt modelluppbyggnaden i Excel skapades en vägledning för dimensioneringsmetoden lokal brand. Vägledningen applicerades sedan på en verklig Br2-hallbyggnad för att ta fram dimensionerande lokala bränder som därefter simuleringarna, på för byggnaden angivna stålprofiler, i TCD baserades på. Detta för att kunna utvärdera hallbyggnadens fordrade brandskydd samt vägledningens användbarhet.

2. Regelmässiga förutsättningar

I detta kapitel presenteras de regler och föreskrifter som berör dimensioneringsmetoden lokal brand.

2.1 Kap. 1.1.2 – Tillämpning av EN 1991-1-2 – Termisk och mekanisk verkan av brand (EKS 9)

Projektering och dimensionering av brandskydd i byggnader följer föreskrifterna i Boverkets Byggregler, BFS 2013:14 (BBR 20), kapitel 5 (Boverket (4), 2013). Brandskyddsprojektören kan välja mellan så kallad förenklad dimensionering och analytisk dimensionering. Valet görs beroende av byggnadens karaktär.

En del av projekteringen innefattar byggnadens bärverk som skall uppfylla de krav som föreskrivs i BBR 20 kapitel 5. BBR 20 hänvisar till regler om byggnaders bärförmåga vid brand som finns i avdelning C, kapitel 1.1.2 i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2013:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS.

För att bestämma vilken bärförmåga byggnadens olika delar skall ha under en brand är metoden att dela upp byggnadsdelarna i olika brandsäkerhetsklasser med hjälp av tabell C-2, C-3,4 eller 5 samt C-6 i kapitel 1.1.2 i EKS 9. Tabell C-2 fungerar som en allmän tabell för alla typer av byggnader och baseras på risk för personskada vid kollaps. Tabell C-3, 4 eller 5 används beroende av vilken byggnadsklass bygganden är klassad till. I rapporten studeras Br2-hallbygganden varför tabell C-4, *Brandsäkerhetsklass i Br2-byggnad*, blir aktuell. För att byggnadsdelar i bärverk ska få utföras utan brandteknisk klass/brandtekniskt skydd måste dessa kunna hänföras till brandsäkerhetsklass 1, det vill säga risken för personskada vid kollaps av byggnadsdelen är ringa. Bärverket förutsetts ha egenskaper som innebär att ett brott inte leder till omedelbar kollaps och byggnaden har goda förutsättningar för en fullständig utrymning. Enligt tabell C-4, kan bärverk som tillhör byggnadens huvudsystem och som vid kollaps inte kan leda till fortskridande ras i brandlastfallet hänföras till brandsäkerhetsklass 1. Detta innebär att kollaps får ske men inte fortskridande ras vilket i sin tur medför att risken för personskada ses som ringa. Här krävs en bedömning om kollaps leder till fortskridande ras i brandlastfallet eller inte. Bedömningen kan göras genom att ta reda på storleken (arean) på den primära skadan samt dess angränsande område. Detta gemensamma område får sedan inte överstiga det maximala området som anges i figur C-2. Det primära skadeområdet antas vara ett brandpåverkansområde om 20 m² där dimensionerande temperatur-tid-kurva kan vara standardbrandkurvan i 30 minuter (Boverket (2), 2013). (Detta medför att maximala avståndet mellan pelare (R30) kan vara cirka 27 meter om fackverket ska kunna utföras oklassat. Här tas dock ingen hänsyn till den brand som påverkar fackverket direkt.)

Med hjälp av tabell C-6 kan brandsäkerhetsklass på bärverk bestämmas efter huruvida bärverket är del av brandcells- eller sektioneringsgräns eller ej.

Vilken brandteknisk klass en byggnadsdel får i bärande avseende bestäms sedan med hjälp av tabell C-7 där den tidigare bestämda brandsäkerhetsklassen kombineras med dimensionerande brandbelastning i byggnaden. Tabell C-7 används om projektören väljer att dimensionera

enligt klassificering det vill säga efter ett nominellt temperatur-tidförlopp. Då byggnadsdelar tillhör brandsäkerhetsklass 3 eller då det inte kan visas att dessa kan hänföras till brandsäkerhetsklass 1 ska byggnadsdelarna utföras i brandteknisk klass R30. Detta innebär att byggnadsdelarna inte får kollapsa under tidsperioden 30 minuter med en brandpåverkan enligt standardbrandkurvan (Boverket (2), 2013).

En annan metod för att bestämma bärverkets brandtekniska skydd är att istället för förutbestämd brandbelastning använda dimensioneringsmetoden modell av naturligt brandförlopp då tabell C-8 i samma kapitel används. Brandförloppen som beskrivs i tabell C-8 är baserade på en fullt utvecklad brand. Kan brandskyddsprojektören visa att sannolikheten för övertändning understiger 0,5 procent kan ytterligare en dimensioneringsmetod användas för att dimensionera byggnadsdelens brandtekniska skydd. Denna metod kallas för lokal brand, se 9 §, avdelning C i EKS, där brandförlopp och temperaturutveckling beräknas utifrån de förhållanden som kan förväntas uppstå i byggnaden. Dessutom ska hänsyn tas till bränslets höjd och placering i rummet. Ytterligare information ges i standarden *SS-EN 1991-1-2, Bilaga C* som även hänvisar till kapitel 3 i samma standard. Informationen i *Bilaga C* består av ekvationer, samt hänvisningar till ekvationer i kapitel 3 som projektören kan använda för att beräkna hur temperaturen från branden påverkar konstruktionen. Punkt 2 i *SS-EN 1991-1-2, Bilaga C* hänvisar till hur värmeflödet mellan lokal brand och bärverk skall beräknas. Samma bilaga ger även förslag på hur plymtemperaturen beräknas om flammen ej når taket samt hur värmeflödet från flammen beräknas om denna når taket. Standarden anger även begränsningar med varje ekvation och beräkning (Boverket (2), 2013).

Bilaga C lokal brand anger inte vilken typ av brand som skall väljas, utan överlåter åt brandskyddsprojektören att bestämma ingående variabler såsom brandens diameter och effektutveckling. Inte heller ges råd för hur den lokala branden/bränderna ska placeras.

Beroende av hur den lokala branden ser ut kan skyddsbehovet på olika bärverksdelar bestämmas med grund i tabell C-2 och hänsyn till risk för personskada vid kollaps samt tabell C-8 som beskriver den tid av ett brandförlopp som byggnadsdelen ska klara (Boverket (2), 2013).

2.2 Standard: SS-EN 1991-1-2, Bilaga C

Som tidigare nämnts hänvisar föreskriften om lokal brand i EKS 9 till denna standard. I princip beskriver standarden vilka ekvationer som ska användas när temperaturen ovanför plymen och i konstruktionen ska beräknas. Den första ekvationen som ges bygger på Heskestads plymmodell (Swedish standards institute (1), 2007) och beskriver hur flamlängden skall beräknas, se ekvation 2.1 nedan.

$$L_f = -1,02 * D + 0,0148 * Q^{2/5} \text{ [m]} \quad \text{Ekvation 2.1}$$

I sin tur säger standarden att om flammen inte slår i taket ($L_f < H$) beräknas temperaturen i plymen längs med centrumlinjen av ekvation 2.2.

$$\theta_{(z)} = 20 + 0,25 * Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Ekvation 2.2}$$

där

$\theta_{(z)}$ är temperaturen i plymen längs med centrumlinjen [$^{\circ}\text{C}$]

D = diametern [m]

Q = värmeutveckling från branden [W]

Q_c = konvektiv värmeutveckling [W], $Q_c = 0,8Q$ om inget annat anges.

z = avståndet längs centrumlinjen, från flammans bas till vald mätpunkt [m]

H = avståndet mellan brandkälla och tak [m]

z_0 = centrumlinjens fingerande startpunkt [m]

där

$$z_0 = -1,02 * D + 0,00524 * Q^{2/5} \quad \text{Ekvation 2.3}$$

Om flamman däremot slår i taket och breder ut sig radiellt längs med taket används en annan ekvation. Denna ekvation bygger direkt på värmeöverföringen, både den konvektiva värmeöverföringen men också värmeöverföringen på grund av strålning, mellan flamma och konstruktion. Eftersom konstruktionens yttemperatur också varierar med tiden blir beräkningen iterativ vilket är lättare att genomföra med ett simuleringsprogram.

Nettovärmeflödet, \dot{h}_{net} , beräknas enligt standarden med hjälp av ekvation 2.4.

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c(\theta_m - 20) - \phi * \varepsilon_m * \varepsilon_f * \sigma[(\theta_m + 273)^4 - 293^4] \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad \text{Ekvation 2.4}$$

där

\dot{h} = värmeflödet [W/m^2]

α_c = Värmeöverföringskoefficienten vid konvektion [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

θ_m = yttemperatur på konstruktionsdel [$^{\circ}\text{C}$]

ϕ = formfaktorn [-]

ε_m = konstruktionsdelsytans emissionstal [-]

ε_f = brandens emissionstal [-]

σ = Stefan Boltzmans konstant ($5,67 * 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

Detta är en kort beskrivning av innehållet som står i standarden, *Bilaga C*, för mer läsning hänvisas direkt till *SS-EN 1991-1-2, Bilaga C* (Swedish standards institute (1), 2007) samt en diskussion i kapitel 4.3 i denna rapport.

2.3 BBRAD

I BBRAD står det på ett flertal ställen att analytisk dimensionering kan användas i EKS 9. I kapitel 1.2 står det att författningen kan användas för verifiering av bärförmåga vid brand i tillämpliga delar enligt modell av naturligt brandförlopp eller vid avvikelser från de allmänna råden i avdelning C kapitel 1.1.2 i EKS 9. Det står även en hänvisning till avdelning C, kapitel 1.1.2 i EKS med tabellnamn *Matris för att identifiera avvikelser från förenklad dimensionering* i kapitel 2.1, tabell 1. I stycket under, kapitel 2.2 står det beskrivet att verifieringen bör omfatta en riskidentifiering för att identifiera relevanta scenarier som utgör påfrestning för byggnadens brandskydd (Boverket (3), 2013).

Exempelvis kan brandskyddet verifieras genom en jämförelse med en så kallad referensbyggnad vars skydd är dimensionerat utefter förenklad dimensionering, FD. Författningen om analytisk dimensionering påpekar även att en känslighetsanalys är viktigt för att verifiera att projektörens uträknade lösning, för att uppnå fullgott brandskydd, stämmer.

3. Teoretisk bakgrund

För att läsaren ska kunna sätta sig in i dimensioneringsmetoden lokal brand krävs lite teoretisk bakgrund. Därför presenteras teori kring enplanshallbyggnader, stål som bärverk, lokala brandförlopp samt en mekanisk analys närmare i detta kapitel.

3.1 Hallbyggnader

Enplanshallbyggnader kan klassas både i byggnadsklass Br2 och Br3 i brandsammanhang (Boverket (4), 2013). Huruvida det blir byggnadsklass Br2 eller Br3 beror av verksamhetsklass, det vill säga antalet personer som förväntas använda byggnaden, hur god lokalkännedom dessa förväntas ha, om de kan förväntas vara vakna och om de kan utrymma själva. Ett entresolplan i en enplanshallbyggnad kan också medföra att byggnadsklassen blir Br2.

Bland den vanligaste typen av stålbyggnader finns hallbyggnader. Dessa omfattar bland annat lager, industrilokaler, idrottshallar, bilhallar, hangarer, stormarknader och köpcenter för att nämna några exempel. Med anledning av den stora bredden av verksamheter i hallbyggnader innehar även materialet som förvaras i dessa byggnader stor variation (Stålbyggnadsinstitutet (1), 2013).

En gemensam nämnare för dessa hallar är att det behövs stora spännvidder, vilket en stålkonstruktion kan bistå med (Stålbyggnadsinstitutet (1), 2013). Anledningen till att dessa stora spännvidder behövs är för att verksamhetsutövaren är ute efter att uppnå pelarfria ytor, med mycket plats för att placera olika typer av utrustning, material etcetera (Stålbyggnadsinstitutet (2), 2008). En hallbyggnads spännvidder varierar beroende av verksamhet och storlek på hallen. Spännvidderna kan variera från 6 meter upp till 35 – 45 meter. Hallbyggnadernas storlek varierar också, allt ifrån hallbyggnader i storlek som en fotbollsplan till hallbyggnader på flera tusen kvadratmeter och med en takhöjd runt 8-12 meter.

3.2 Stålkonstruktioner

Nedan beskrivs grundläggande egenskaper för stål, vanliga stålprofiler i Br2-hallbyggnader samt hur stål beter sig vid brandpåverkan.

3.2.1 Stål

Stål är en legering av järn och högst ca två procent kol samt en liten mängd andra grundämnen. En ökad andel kol i legeringen ger högre hållfasthet men istället avtar stålets seghet och det blir sprödare. I bärande konstruktioner överstiger kolhalten normalt inte 0,18 procent. De viktigaste egenskaperna hos ett konstruktionsstål är just hållfasthet, seghet och svetsbarhet men även bockbarhet och skärbarhet. Hållfastheten mäts i två mått, sträckgräns och brottgräns. Sträckgränsen, f_y , är spänningen när plastiska töjningar uppstår i stålet och den töjning, ϵ_y , som innebär att sträckgränsen nås, ligger storleksmässigt runt 0,1-0,3 procent. Brottgränsen, f_u , är den vid ett dragprov högst uppmätta spänningen det vill säga stålet har utsatts för kraftig töjning. Dessa töjningar ligger runt 8-15 procent för normala konstruktionsstål och kallas oftast för stålets gränstöjning ϵ_g , det vill säga den största jämnt

fördelade töjningen materialet klarar. Även stålets elasticitets- och skjuvmodul har betydelse för stålkonstruktionens verkningssätt och bärförmåga (Stålbyggnadsinstitutet (3), 2013).

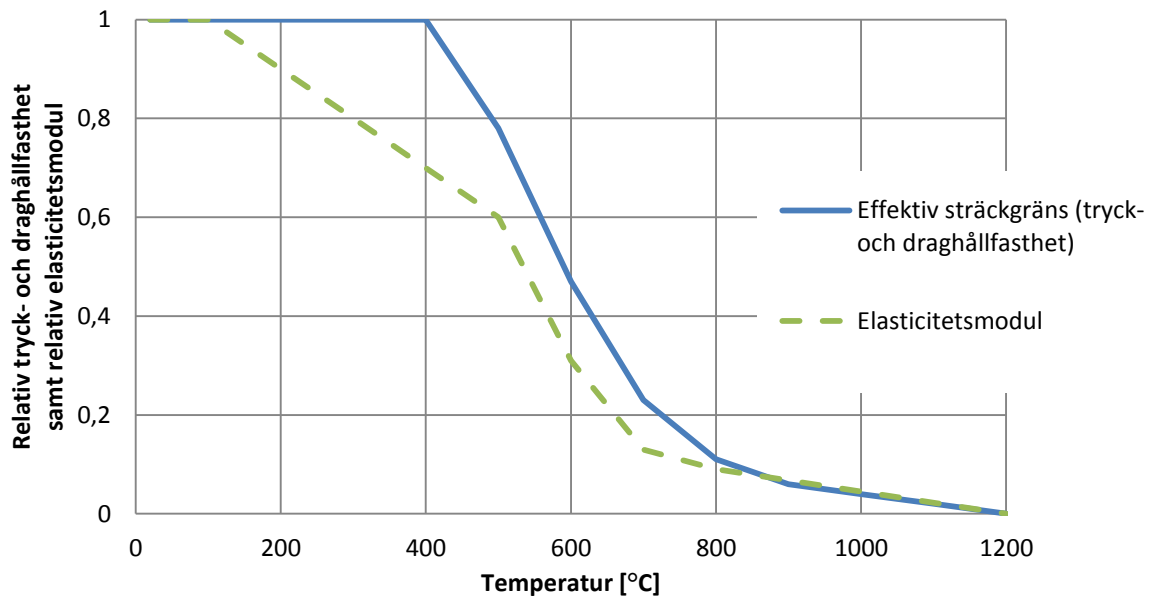
Förhållandet mellan spänning och töjning inom området som är elastiskt (det vill säga innan stålet når sträckgränsen) kallas elasticitetsmodulen, E , som anges i Pascal. Alla konstruktionsstål antas ha elasticitetsmodulen 210 000 megapascal (Stålbyggnadsinstitutet (3), 2013). Skjuvmodulen, G , är en materialkonstant vilken beskriver deformationen som funktion av den skjuvande kraften per ytenhet, det vill säga materialets styvhet. Skjuvmodulen kan beräknas ur det elastiska området och ju större värde denna har desto styvare material (Fysikum, Stockholms universitet, 2010).

Vissa stålsorter är standardiserade med avseende på krav på analys, materialegenskaper samt de provningsmetoder som används för att ta fram dessa egenskaper. Standardisering har skett för att få en enhetlighet och standarderna är gemensamma för EU och EFTA, *European Free Trade Association* och i Sverige ges de ut av Swedish standards institute. Stålen klassificeras efter stålsort vilken anger hållfasthetsklass och kvalitet på seghetsnivå med beteckning SXXXYY, där S står för konstruktionsstål, XXX står för garanterad sträckgräns i megapascal och YY för seghetsklass till exempel S355J2. Seghetsnivån beskriver stålets sprödbrottssäkerhet. Ett sprödbrott innebär att ingen plasticering sker utan brottet får ett kristallint utseende istället för fibrigt eller trådigt. Det är viktigt att välja rätt seghetsklass på stålet för att kunna utesluta risken för sprödbrott (Stålbyggnadsinstitutet (3), 2013).

3.2.2 Stål och brand

En temperaturökning i stålkonstruktioner medför att stålets hållfasthet och elasticitetsmodul avtar vilket gör att bärförmågan minskar, se figur 3.1, detta i sin tur kan leda till kollaps. Vid temperaturer runt 450-500 °C reduceras bärförmågan hos vanliga konstruktionsstål mera påtagligt medan den vid fortsatt temperaturökning avtar gradvis och ger upphov till krypfenomen. (Ranby & Karlström, 2002). Med krypfenomen menas en långsam deformation av material som är under belastning (Kaya, 2012). Den temperatur då konstruktionen riskerar att kollapsa definieras som kritisk ståltemperatur och den beror främst av konstruktionens statiska utnyttjandegrad i brandlastfallet, men även stålprofil och godstjocklek har betydelse (Thor, 2009). Ju högre last desto lägre kritisk ståltemperatur. För konstruktioner som är fullt statiskt utnyttjade vid brottlastdimensionering bedöms den ungefärliga kritiska ståltemperaturen till 500 °C för pelare samt 540 °C för balkar, denna bedömning anses vara på säkra sidan enligt Thor, tekn. dr. (2009). Stålprofilen och godstjockleken påverkar förhållandet mellan konstruktionens brandexponerad area och dess massa, det så kallade F/A-värdet. Där F är brandexponerad omkrets i meter och A är stålprofilens tvärsnittsarea i kvadratmeter. Detta värde har stor betydelse för hur fort stålkonstruktionen värms upp vid en viss temperaturökning och ju större F/A-värde desto fortare uppvärmning av stålkonstruktionen (Thor, 2009). F/A-värdet kan användas för att bestämma temperaturökningen i ett oskyddat ståltvärsnitt under ett visst tidsintervall för en ekvivalent jämn temperaturfördelning i ett tvärsnitt. Det vill säga hela tvärsnittet får samma temperatur i ett visst tidsintervall (Swedish standards institute (2), 2005).

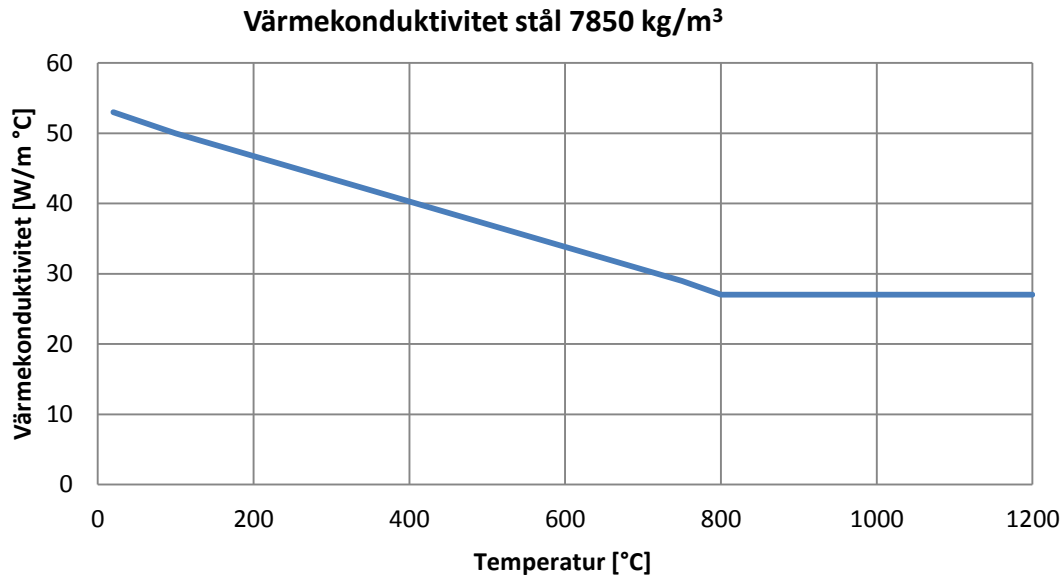
Samband mellan temperatur, hållfasthet och bärförmåga för stål



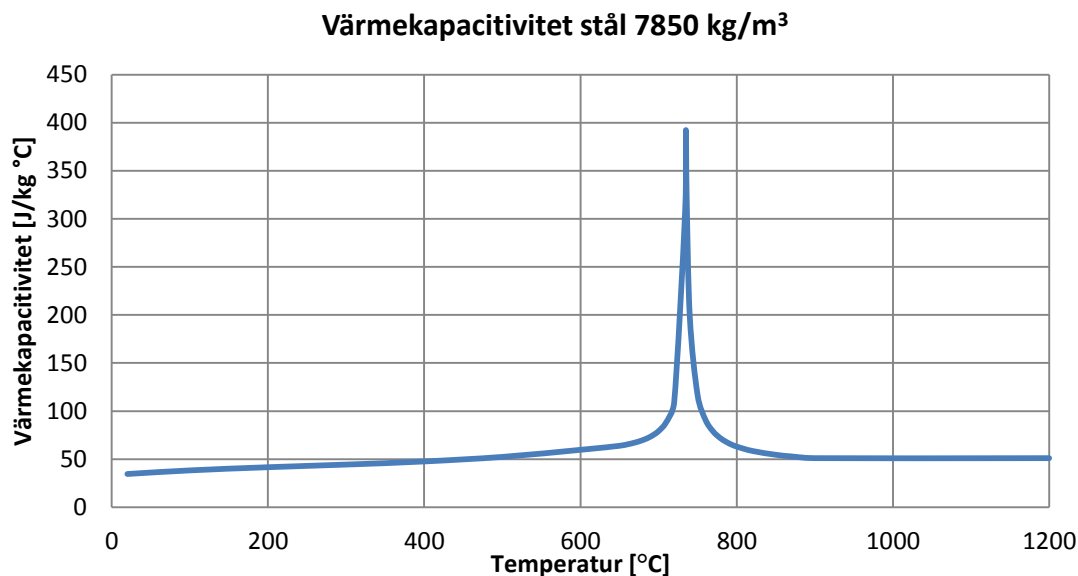
Figur 3.1 Relativ tryck- och draghållfasthet samt elasticitetsmodul för stål som funktion av temperaturen reproducerad från Swedish standards institute (2), 2005.

När stål utsätts för brand förändras de termiska egenskaperna vilka är av stor betydelse i just brandfallet. Dessa egenskaper beskrivs av värmekonduktivitet och värmekapacitet (produkt av värmekapacitet och densitet). Värmekonduktiviteten beskriver stålets förmåga att leda värme och värmekapaciteten beskriver den mängd energi som går åt för att värma upp ett kilogram av stålet en grad, båda är funktioner av temperaturen. Enligt Eurokod 3 avbildas värmekapaciteten respektive värmekonduktiviteten som funktion av temperatur enligt figur 3.2 och figur 3.3 (Swedish standards institute (2), 2005). Den kraftiga ökning av värmekapaciteten som syns i figur 3.3 beror på en strukturförändring hos atomerna vilken kräver väldigt mycket energi². För att kunna bestämma stålets bärförmåga vid en viss temperatur behövs sambandet mellan temperatur och sträckgräns respektive temperatur och elasticitetsmodul, detta eftersom bärförmågan beror just av hållfastheten och elasticitetsmodulen (Ranby & Karlström, 2002).

² Sebastian Jeansson, Civilingenjör FSD Malmö AB, Intervju, 2013-09-19.



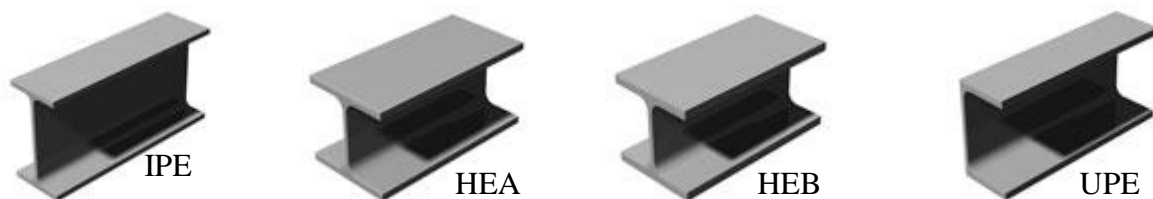
Figur 3.2. Värmekonduktivitet som funktion av temperaturen för stål med densiteten 7850 kg/m³ reproducerad från Swedish standards institute (2), 2005.



Figur 3.3. Värmekapacitet som funktion av temperaturen för stål med densiteten 7850 kg/m³ reproducerad från Swedish standards institute (2), 2005.

3.2.3 Olika typer av stålprofiler (vanliga i Br2-hallbyggnader)

Den vanligaste typen av stålbyggnader är just hallbyggnader och industribyggnader. Ett hallbyggnadssystem består i grunden av stålpelare, stålbalkar samt takstolar i stål. Det finns flera olika stålprofiler att välja bland men de vanligaste är I- och H-balkar så kallade HEA-, HEB- och IPE-profiler samt UPE-, VKR- och VCKR-profiler. En I-balk har en profil som ser ut som ett I eller ett liggande H om flänsarna är breda (BE Group Sverige AB (1), 2013). Skillnaden mellan HEA, HEB och IPE består i profilhöjd, flänsbredd samt godstjocklek och UPE-profilen kan liknas vid ett C där flänsarna är parallella, se figur 3.4.



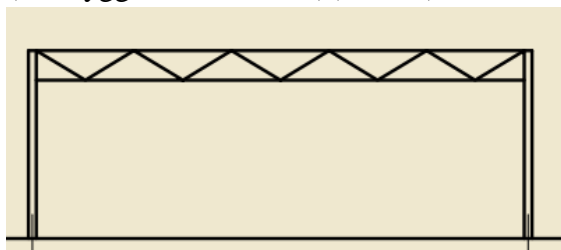
Figur 3.4. Olika I- och H-balkar samt UPE-balk (BE Group Sverige AB (1), 2013).

VKR- och VCKR-profilerna är så kallade hålprofiler, de är kvadratiska/rektangulära respektive cirkulära. De cirkulära är populära bland arkitekter och används ofta där konstruktionen är synlig se figur 3.5 (BE Group Sverige AB (2), 2013).

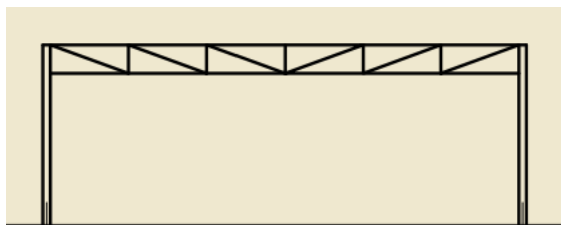


Figur 3.5. Olika hålprofiler (BE Group Sverige AB (2), 2013).

Takstolarna sträcker sig ofta över hela byggnadens bredd, men för riktigt stora hallar kan dessa delas upp i flera delar, så kallade skepp, med mellanliggande pelarrader. Detta resulterar ofta i en stor spännvidd vilket leder till att fackverk är dominerande takbärverk i hallbyggnader. Standardprodukter klarar spännvidder upp till 45 meter, men med spännvidden ökar också kostnaden (Stålbyggnadsinstitutet (4), 2013). Fackverk finns i en mängd olika utformningar och tillverkas av C-, H- eller rörprofiler vilka i industri- och hallbyggnader utförs i främst två olika konfigurationer, W- eller N-stagning se figur 3.6 och figur 3.7 (Stålbyggnadsinstitutet (5), 2008).



Figur 3.6. Exempel på fackverksbalk med W-stagning (Stålbyggnadsinstitutet (5), 2008).



Figur 3.7. Exempel på fackverksbalk med N-stagning (Stålbyggnadsinstitutet (5), 2008).

3.3 Lokal brand

I ovanstående kapitel beskrevs teori kring Br2-hallbyggnader samt stål som bärverk. I detta kapitel ska teorin kring brandens egenskaper presenteras lite kort, eftersom det är ett lokalt brandförlopp som kommer till användning när metoden lokal brand skall appliceras som dimensioneringsmetod. Det som påverkar bärverket i slutändan är den temperaturökning i stålet som branden medför. Hur stor och hur snabb denna temperaturökning blir påverkas av en rad olika faktorer som kommer att presenteras i nedanstående stycken.

En lokal brand i ett utrymme består av fyra faser om inget annat runt omkring får påverka. Dessa fyra faser är antändning, tillväxt, maximal effektutveckling samt avsvälning. Det ena brandförloppet är inte det andra likt, varför det ofta ansätts en grov effektutvecklingskurva för respektive ämne/material som brinner. Tillväxtsfasen i denna effektutvecklingskurva är beroende av tillväxthastigheten, α [kW/s^2], som normalt brukar delas in i fyra olika tillväxthastigheter, se tabell 3.1. Maximaleffektutveckling är specifikt för respektive ämne/material (Karlsson & Quintiere, 2000). Andra faktorer som påverkar hur en lokal brand fortlöper är tillgången till syre, hur lagringskonfigurationen ser ut samt hur stor yta branden är begränsad till.

Tabell 3.1. Värden på α för olika tillväxthastigheter (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tillväxthastighet	α [kW/s^2]
Ultra fast	0,19
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003

Andra viktiga parametrar hos branden som påverkar hur temperaturen från denna kommer att påverka bärverket är, förutom effektutveckling, flamhöjd samt diameter. Hur hög flammen blir beror av effektutveckling samt diameter (Karlsson & Quintiere, 2000). Det finns en rad olika ekvationer att beräkna flamhöjden med, i examensarbetet används den plymekvation som anges i *SS-EN 1991-1-2, Bilaga C* (Swedish standards institute (1), 2007). Plymekvationen presenteras i ekvation 2.1, kapitel 2 Regelmässiga förutsättningar.

Skillnaden mellan en lokal brand och en övertändning är att vid en övertändning brinner allt som kan brinna i lokalen medan en lokal brand är begränsad till en viss del/vissa delar av lokalen. Övertändningen är stadiet mellan tillväxtfasen och en fullt utvecklad brand i en lokal. När övertändning sker beror av geometrin i lokalen samt öppningar ut till det fria. Ett kriterium som är vanligt förekommande vid övertändning är att brandgasernas temperatur i hela lokalen har kommit upp i 500-600 °C (Karlsson & Quintiere, 2000).

Författarna menar att dimensioneringsmetoden lokal brand baseras, som namnet antyder, på brandens egenskaper i förhållande till hur dessa kommer att påverka stålkonstruktionen. Det är skillnad på en lokal brand i en byggnad och en övertändning. En övertändning påverkar hela bärverket samtidigt medan den lokala branden bara påverkar vissa delar. Med avseende på geometrin samt placeringen av brännbart material i en byggnad, under förutsättning att övertändning ej sker, kan bärverkets skydd anpassas efter de förhållanden som råder. En anledning till att dimensioneringsmetoden lokal brand finns är för att kunna minska

kostnaderna genom att visa att bärverket kan utföras delvis eller helt oklassat eller genom att exempelvis visa att mängden brandskyddsfärg kan minskas på vissa ställen i lokalen.

3.4 Mekanisk analys

Genom att göra en mekanisk analys kan relativ bärförmåga samt stålets kritiska bärförmåga räknas ut för den tid då konstruktionsdelen är brandutsatt. För att göra detta krävs kunskap om ingående variabler och parametrar såsom strukturtemperaturförlopp från temperaturanalys, mekaniska egenskaper hos materialet samt geometrin hos materialet. Dimensionerande materialparametrar ges som partialkoefficienter i EKS 9, dessa varierar för dimensionering i brottgräns- och brandtillstånd. För stål är den materialrelaterade partialkoefficienten i brandtillståndet 1,0 enligt EKS 9 (Boverket (2), 2013).

Då bärförmågan ska bestämmas hos en konstruktionsdel ska hänsyn tas till de laster som konstruktionsdelen kan utsättas för. Dessa kan exempelvis vara snölast, vindlast och olyckslast. Olyckslast är den last som oftast uppkommer vid icke avsedda händelser och som har en låg sannolikhet. Detta gör att materialegenskaperna kan utnyttjas till en högre grad vid olyckstillstånd än under normala förhållanden. Brand dimensioneras enligt begreppet olyckslast (Boverket (2), 2013).

Som tidigare nämnts minskar bärförmågan hos en konstruktionsdel då den utsätts för termisk påverkan, beroende på konstruktionsdelens temperatur-tidfält. Med temperatur-tidfält menas hur stor temperaturökning konstruktionsdelen tål under en viss tidsperiod. Brandpåverkan leder till en temperaturökning i stålet som minskar både stålets relativa hållfasthet samt dess relativa elasticitetsmodul se figur 3.2 och figur 3.3 i avsnitt 3.2. Bärförmågan det vill säga lastkapaciteten för stålpelare beräknas enligt Eurokod 3 (Swedish standards institute (2), 2005). Det är stålets plastiska kapacitet samt kritisk Euler-knäcklast som bestämmer stålets dimensionerande lastkapacitet. Den plastiska kapaciteten beror av stålets draghållfasthet i brandtillståndet samt arean hos stålelementet. Kritisk Euler-knäcklast beror av den totala styvheten hos stålet vilken beror av elasticitetsmodulen samt knäcklängden för stålprofilen (Swedish standards institute (2), 2005).

4. Kartläggning av svårigheter med dimensioneringsmetoden

I detta avsnitt kommer svårigheter och meningsskiljaktigheter kring dimensioneringsmetoden kartläggas samt diskuteras. Bakgrunden till kartläggning och diskussion baseras på studier av regelverk, diskussionsforum, publikationer tidigare utredningar samt konsekvensutredningar som berör området genomförda av författarna samt intervjuer med personer inom branschen, både brand- och riskingenjörer samt konstruktörer av stålbärverk, se Bilaga A.

4.1 Diskussion om meningsskiljaktigheter

En av avgränsningarna i denna rapport är att det endast är dimensioneringsmetoden lokal brand som undersöks. Men eftersom det råder delade meningar redan i tidigare skeden i dimensioneringsprocessen diskuteras delar av EKS 9 i nedanstående stycken.

4.1.1 Boverket och EKS 9

Ett av de större problemen är att få projektörer faktiskt använder sig av och sätter sig in i modellen lokal brand. Många tycker att kraven som ställs från Boverket och EKS 9 är orimligt höga och att kostnaderna på grund av dessa, framför allt för takbärverket, skenar iväg. Tre av de intervjuade tycker att kraven som ställs på bärverket ska vara förenliga med de krav som ställs från samhället, de menar att samhället accepterar en viss risk. En fråga som ställs av flera aktörer inom branschen är vad samhället vill lägga pengar på. Kommer risken att minska med de nya kraven, att bärverket upprätthåller brandteknisk klass R30 trots att statistik visar att ingen person har omkommit på grund av en sådan olycka. Enligt flera av de intervjuade är en annan viktig aspekt att i tidigare lagstiftningar har dimensionering av bärverk i brandsammanhang under vissa förutsättningar kunnat utföras utan krav på formell brandteknisk klass vilket idag inte längre är en möjlighet i samma omfattning. Dessa förutsättningar är att särskild utredning av konsekvenserna av en kollaps utförs med hänsyn till utrymningstrygghet samt risker för släckpersonal (Thor, 2007). Kraven som ställs i föreskriften resulterar i kortare spännvidder och högre kostnader för brandskydd av bärverket för att detta skall kunna stå emot en brand i 30 minuter utan att kollapsa annat än lokalt.

En anledning till att en del av branschen tycker att kraven är orimligt höga beror av att det anses att utrymning av byggnaden bör ha genomförts långt innan bärverket kollapsar. Detta på grund av att en människa inte klarar rådande förhållanden i byggnaden vid brand och bärverket håller längre tid än vad som krävs för att alla ska hinna utrymma. Tre av de intervjuade menar också att en brand som är så stor att konstruktionen kollapsar medför att räddningstjänstpersonal kommer att hålla sig på avstånd från branden på grund av den höga strålning branden avger och därmed ej drabbas av kollapsen, se även intervjusvar i bilaga A.

Meningsskiljaktigheterna kring EKS 9 är många och eftersom detta ligger utanför ramarna för examensarbetet kommer inte någon djupare analys av detta att genomföras. Det som dock skall understrykas är att det i dagsläget finns lagar och föreskrifter som skall följas och en av svårigheterna att få konsulter i branschen att använda sig av dessa, på rätt sätt, är misstron för EKS 9.

Det är också viktigt att tillägga att konsultsidan är relativt ny, olika lösningar har inte fått testas på riktigt och någon riktig feedback har aldrig givits. Det är viktigt att såväl erfarna som

oerfarna diskuterar och tillsammans hjälper till att utveckla brandskyddet i byggnader men det är även viktigt att regelverket följs och att de krav som ställs uppnås.

En mer konkret del är att en bättre synkronisering mellan Boverkets Byggregler, BBR, Boverkets Byggregler allmänna råd om Analytisk Dimensionering, BBRAD, samt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av de europeiska konstruktionsstandarderna (eurokoder), EKS 9 genomförs. I dagsläget hänvisar BBRAD till EKS men i EKS finns det ingen förklaring om vad analytisk dimensionering är. Det borde vara genomförbart att med hjälp av analytisk dimensionering avvika från de allmänna råden i EKS för att uppnå föreskriften, självklart med samma verifieringskrav som gäller för analytisk dimensionering enligt BBR. Det som har efterfrågats i intervjuerna är att ha ett stycke i BBRAD, liknande utrymningsdimensionering, som beskriver eller ger en ram för hur en brandskyddsprojektör ska gå tillväga för att nå föreskriften i EKS på sätt som är alternativa till de allmänna råden, se även intervjusvar i bilaga A.

Synen på de olika metoderna i EKS är också viktigt att få grepp om, den varierar något från konsult till konsult. Kan dimensionering enligt klassificering, tabell C-7, EKS 9, ses som den förenklade modellen medan cirkelmetoden, figur C-2 i EKS 9, är ett sätt att göra ett avsteg från denna? Skulle konsulten kunna använda naturligt brandförlopp samt lokal brand som en mer analytisk modell? Alla tre är lika rätt enligt föreskrift, frågan handlar snarare om hur verifiering utförs. Det vill säga visa att bärverket i en Br2-hallbyggnad uppfyller föreskriften vid brandpåverkan.

4.1.2 Sannolikheten för övertändning

Det första steget för konsulten för att kunna använda sig av metoden lokal brand är att visa att det inte kommer att ske någon övertändning i lokalen. Detta kan göras på olika sätt antingen genom att visa att verksamheten medför låg brandbelastning i förhållande till takhöjd och därmed volym, i lokalen eller att genom två oberoende tekniska system visa att det inte blir övertändning till en sannolikhet av 99,5 procent. I dagsläget finns det flera projektörer som undrar vilka två tekniska system detta skulle kunna vara. De ifrågasätter om det i dagsläget finns något annat tekniskt system mer än automatisk vattensprinkleranläggning som med tillräckligt hög sannolikhet kan hindra en övertändning. Detta innebär att det i så fall skulle krävas två oberoende sprinklersystem för att klara att sannolikheten för övertändning ska understiga 0,5 procent. Problemet med brandgasluckor är exempelvis att dessa släpper ut brandgaserna men att detta inte hindrar branden från att sprida sig i lokalen och att det är oklart om detta system faktiskt kan hindra en övertändning till en tillräckligt hög sannolikhet. Föreskriften om hur det skall visas att sannolikheten för övertändning understiger 0,5 procent är skriven för att konsulter ska utveckla, tänka, komma på innovativa lösningar och inte bli fast i ett visst tankesätt vilket, med tanke på den utbildning de flesta konsulter har till grund, borde vara en möjlighet. Andra system som ges av Boverket är rökskärmar och sektionering (Strömgren, 2009).

Ett annat stort problem är vilken brand som skall ansättas i byggnaden när beräkningen för övertändningsbeviset genomförs. Diskussioner fördes kring att övertändningsbeviset borde grundas på de material som kan tänkas brinna i hallbyggnaden. Det finns projektörer som

ansätter en väldigt stor brand i sin beräkning av sannolikheten för övertändning, men finns denna i byggnaden och hur ”försvinner” denna sedan när projektören tar fram sin lokala brand?

4.1.3 Takplåt och ställage

En annan vanlig diskussion som tagits upp under intervjuerna är frågeställningen hur takplåten borde behandlas. Två av de intervjuade menar att det läggs oerhört mycket energi på bärverket men att takplåten glöms bort. Denna får utföras oklassad, om funktionskravet uppfylls, vilket innebär att takplåten kommer att kollapsa före bärverket även om bärverket utförs oklassat, detta eftersom plåten är mycket tunnare. Däremot bör en kollaps av plåten inte leda till fortskridande ras förutsatt att plåten inte är det material som samverkar till bärligheten i konstruktionen. Det råder otydligheter huruvida det är rimligt att klassa bärverket i R30 om plåten ändå får utföras oklassad och hur kommer då händelseförloppet under en brand att se ut? Bör det även ställas krav på klassning av plåten om denna samverkar till bärlighet i konstruktionen?

Tre av konsulterna tog upp ytterligare ett problem, nämligen att lagerställage inte heller är utförda i någon brandteknisk klass. Det innebär att kollaps av ställage kan inträffa och hota insatspersonal, även om lokalen i sig klarar R30-kravet eller lokal brand. Vad har då uppnåtts med brandskyddskraven?

4.1.4 Paragraf 9 Lokal brand

I styckena ovan diskuteras sådant som egentligen bör lösas och förtydligas innan metoden lokal brand kan komma till användning. Men även i denna metod finns det en rad kartlagda svårigheter.

Verksamhetsanpassat?

Det första konsulter gör eller tänker att de bör göra för att kunna räkna på den lokala branden är att anpassa denna efter verksamheten som skall infinna sig i hallbyggnaden. Hur stor ska den lokala brandens effektutveckling vara? Vilken area bör den lokala branden ha? Vad är egentligen rimligt för en brand som är lokal? Redan här råder det meningsskiljaktigheter, en del menar att byggnadens brandskydd ofta är anpassat efter de förutsättningar som ska råda i lokalen vid ibruktagandet och därmed kan även bärverket anpassas efter verksamheten. Andra menar att det blir för dyrt att uppdatera brandskyddet då det är aktuellt med en ny hyresgäst/fastighetsägare som kanske ändrar verksamhet varför det skulle behövas en lösning som fungerar för olika verksamheter. Dessutom är det inte självklart att fastighetsägaren är medveten om att brandskyddet behöver uppdateras överhuvudtaget.

Eftersom exempelvis gångavstånd, dörrbredder, automatiska brand- och utrymningslarm, vägledande markeringar och belysning, lagringskonfigurationer och så vidare anpassas efter den verksamhet som skall finnas i lokalen är det kanske inte konstigt att även anpassa bärverket efter rådande förhållanden. Det ska dock tilläggas att det är stor skillnad i kostnad att ändra brandskyddet på bärverket jämfört med att lägga till exempelvis en utrymningsdörr. Det är byggherren som ansvarar för de verksamheter hallbyggnaden är anpassad till och det borde ligga i dennes intresse att ta höjd för de verksamheter som lokalen kan tänkas vara

lämplig för. En uppdatering av brandskyddet vid försäljning alternativt uthyrning till annan hyresgäst är kanske inte ekonomiskt försvarbart när det kommer till bärverk men samtidigt måste gränsen dras någonstans, exempelvis genom att lokalen begränsas till en viss typ av verksamhet såsom matbutik, ishall respektive bilhall för att nämna några exempel.

Otillräcklig vägledning?

Den näst intill obefintliga vägledningen för hur dimensioneringsmetoden lokal brand ska tillämpas medför att konsulter i branschen utför dimensioneringen olika. Detta medför i sin tur att brandskyddet i Br2-hallbyggnader skiljer sig åt, mer än vad som kan anses rimligt i förhållande till regelverket, beroende på vem som har projekterat byggnaden.

Det som krävs för att metoden skall tillämpas på liknande sätt kan vara en form av vägledning eller ram likt den som finns för utrymningsdimensioneringen i BBRAD. En del konsulter anser att det skulle vara bra med en generell brand för varje verksamhet, men det skulle också kunna hindra utvecklingen och det innovativa tänket hos projektörerna. De flesta konsulter i branschen idag har läst någon kurs som innefattar att se över en verksamhet i en lokal, efter denna undersökning av verksamhet i sin tur ta fram den värsta tänkbara troliga branden i bygganden och därefter beräkna brandskyddet utefter undersökningen. Ett motsvarande sätt borde vara möjligt att använda sig av när metoden lokal brand skall tillämpas. Dock bör det tas i beaktande vilken höjd brandskyddet skall hållas på, med andra ord beställaren måste i samband med att beställningen görs informera om vilka verksamheter som projektören skall räkna på.

Det kan tyckas låta invecklat och komplicerat samt att det dessutom är troligt att de flesta byggherrar kommer välja att utforma och anpassa byggnaden utifrån en specifik verksamhet då detta mest troligt innebär en lägre kostnad kortsiktigt. Problemet kommer istället då en eventuell försäljning eller byte av hyresgäst blir aktuellt vilket dels skulle kunna begränsa urvalet av intresserade köpare samt kräva en uppdatering av brandskyddet. Detta är helt enkelt en risk som fastighetsägaren får värdera för att minska kostnaderna i byggskedet.

Beräkningsanvisning

En hänvisning i § 9 i de allmänna råden i EKS är att lokal brand bör beräknas enligt *SS-EN 1991-1-2, Bilaga C*. Här anges två olika uttryck för att beräkna temperaturer beroende på om konstruktionsdelen/taket befinner sig ovanför eller i flammen.

Den ekvation som bygger på Heskestads plymekvation, se ekvation 2.2, som används då takhöjden är högre än flammhöjden är endast giltig för temperaturer upp till och med 900 °C. Temperaturen i flammen kan bli högre, detta innebär att ekvationen egentligen endast går att använda för att beräkna temperaturen i plymen ovanför samt en bit ner i flammen, där temperaturen understiger 900 °C.

Det andra uttrycket är betydligt mer komplicerat och används då flammorna når taket. Uttrycket bygger på värmeöverföringen per ytenhet på brandutsatt yta, hänsyn tas till både konvektiv värmeöverföring och strålning. Detta innebär att istället för en temperatur bestäms värmeöverföringen per brandutsatt ytenhet i en viss punkt i taket, vilket medför att värmeöverföringen kan mätas även radiellt från flammans centrumlinje. För att använda

uttrycket behöver ytemperaturen hos konstruktionsdelen vara känd, vilken varierar med tiden och ges av en temperaturanalys i enlighet med Eurokod 3 – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering (Swedish standards institute (2), 2005).

Att bestämma värmeöverföringen i en punkt, visserligen i taket, som inte befinner sig i flammans centrumlinje kan tyckas onödigt då det inte anses vara värsta fallet, utan värsta fallet anses vara då branden är placerad rakt under konstruktionsdelen och så nära att takhöjden är lika med flamhöjden. Detta skulle i så fall ge ett konservativt antagande att utgå ifrån, nämligen att ytemperaturen för konstruktionsdelen sätts till max 900 °C, då den är omsluten av flammen. Den lokala branden kan sedan ”flyttas runt” i byggnaden för att se vilken temperaturpåverkan den får på olika konstruktionsdelar. Det är också viktigt att se hur konstruktionen påverkas av både brandgaslager och direkt flampåverkan från branden.

Har brandskyddsprojektören tillgång till ett datorprogram för beräkning av värmeledning underlättar detta betydligt och det går att få temperaturen i hela konstruktionsdelen över tiden.

Tekniska system

Paragraf tio om tekniska system i kapitel 1.1.2 i EKS 9 innehåller också en hel del otydligheter. Konsulter i branschen tycker att denna är svår att tillämpa på rätt sätt. Exempel på otydligheter är huruvida hänsyn till sprinklernas felfunktion skall tas när denna används tillsammans med den lokala branden samt hur mycket den lokala branden får reduceras tack vare att hallbyggnaden utförs med automatiskt vattensprinklersystem.

Tre av de intervjuade menar att det är sprinklernas ”förtjänst” att den lokala branden har blivit lokal när konsulten visar att det endast är en 0,5 procents sannolikhet för övertändning i hallbyggnaden. Därav skall inga ytterligare reducerande åtgärder utföras på den lokala branden. Detta kan låta rimligt när det gäller en hallbyggnad med mycket brandbelastning där en övertändning hade varit ett faktum om det inte hade varit för sprinklern.

I fallet där den lokala branden har visats vara lokal utan sprinklernas förtjänst borde det vara en självklarhet att reducera på något sätt, ett förslag är att reducera liknade det sätt som anges i BBRAD. Eftersom ett sprinklersystem har en felsannolikhet på cirka fem procent borde en beräkning på hur det blir om sprinklern fallerar genomföras (Andersson & Wadensten, 2002). Många i branschen är kluvna hur tillvägagångssättet i en sådan situation skall se ut. I de fall där branden begränsas av sprinkler till en lokal brand blir branden fullt utvecklad om sprinklern fallerar. Oavsett hur hänsyn tas till sprinklerfallering kommer bärverket ändå att påverkas av ett fullt utvecklat brandförlopp i det fall då sprinklern fallerar, se även intervjusvar i bilaga A.

Ett ytterligare sätt att gå tillväga är att beräkna huruvida det blir övertändning eller ej efter de material som aktuell verksamhet har försett hallbyggnaden med. I sin tur tas en eller flera dimensionerande lokala bränder fram för verksamheten. Dessa kan, efter en viss tolkning av § 10, reduceras av sprinklern ännu en gång utan att hänsyn till felfunktion tas. Anledningen till detta är just den faktorn att hänsyn har tagits till felfunktionen i ett tidigare skede, ”övertändningsbeviset”, samt att de som har författat föreskriften borde ha tagit höjd för felfunktionen av tekniska system när föreskriften skrevs. I alla dimensioneringsprocesser

finns det alltid en risk att den verkliga branden inte har hittats, att låsöppningen till flera nödutrymningsdörrar är ur funktion just den dagen ett brandtillbud inträffar etcetera. Samma gäller sprinklernas felfunktion, denna risk är kanske något människan får leva med, en så kallad restrisk som en konsult uttryckte det. Detta förutsätter att det beaktats att felfunktion kan inträffa samt att det tagits höjd för detta då instruktionen för dimensioneringsprocessen skrivits i samband med utformandet av föreskriften. En konsult uttryckte att restrisken skulle kunna vara sannolikheten för att en större brand än vad som valts som dimensionerande lokal brand inträffar samtidigt som sprinkler inte fungerar. ”Givet brand” innebär inte bara stora bränder som hotar att slå ut konstruktionen.

En viktig del som bör klarläggas av Boverket är ett krav på en viss standard på sprinklersystemet samt funktionskontrollen av det om det skall få användas i samband med dimensioneringsmetoden lokal brand i Br2-hallbyggnader. Detta kan leda till att bättre sprinklersystem utvecklas samt att det utförs fler besiktningar och kontroller för att systemet ska upprätthålla en fullgod funktion, se även intervjusvar i bilaga A.

Val av parametrar

När verksamheten väl är bestämd och den dimensionerande lokala branden/brändernas storlek har bestämts är placeringen av denna viktig. Lika viktig som denna parameter är, lika oklar för många konsulter är densamma. Vissa använder sig av en stor brand med placering på golvet, andra räknar på tre olika placeringar i höjddled, en tredje tittar på verksamheten och placerar den lokala branden där det är tänkt att den ska vara när möbleringen av hallbyggnaden är färdig medan en fjärde delar upp golvarean i schackrutor, placerar den valda lokala branden i alla dessa och tittar på varje del av bärverket. Lösningar varierar från att vara relativt enkla till mer teoretiskt och beräkningsmässigt komplicerade. Flertalet i branschen menar dessutom att det finns för få personer som har tillräckliga kunskaper inom både konstruktion och brand för att kunna förstå brandens påverkan på konstruktionen och därtill göra beräkningar på det. Detta medför att dimensioneringsmetodens utformning styr antalet som tycker sig kunna använda sig av den trots att de i själva verket har de kunskaper som krävs, se även intervjusvar i bilaga A.

Återigen kommer diskussionen huruvida dimensioneringsmetoden skall vara generell för alla Br2-hallbyggnader eller om den ska vara verksamhetsberoende. Om den lokala branden är lokal för den verksamhet som skall inrättas i en given hallbyggnad bör alla tänkbara placeringar av brännbart material undersökas. Exempelvis en bilhall, den dimensionerande lokala branden borde i de flesta fall bli en bilbrand och i nästan alla fall är bilarna och därmed också branden placerad på golvet, varför den placering som bör undersökas är just i golvnivå. Ett annat exempel kan vara ett möbelvaruhus, där finns ofta ställage där det lagras möbler, varför placering av den lokala branden borde undersökas både på hög, mellan och låg nivå. Det som ska tilläggas är att det som lagras högst upp på stället är ofta mindre än det som lagras längst ned samt att en brand högst upp löser ut sprinklern i ett tidigare skede jämfört med det som lagras i golvnivå. Alla dessa parametrar måste tas i beaktande när analysen genomförs men kunskaper om hur detta ska genomföras saknas i dagsläget.

Placeringen av branden är viktig att beakta. I många avseenden kan det vara självklart att personer i lokalen samt även räddningstjänst kommer att utrymma på grund av de kritiska förhållanden som råder i byggnaden men det kan finnas risk för att möbleringen i byggnaden är på ett sådant sätt att branden kan vara dold. Ett bra exempel på varför en brand i dolda utrymmen kan vara ett problem är att räddningstjänsten kanske inte känner av strålningen från branden på samma sätt om branden är dold vilket gör att de kan gå närmare branden för att försöka släcka. Är inte bärverket dimensionerat för att stå emot den lokala branden kan en kollaps vara ett faktum.

Ett annat problem är hur den lokala branden skall väljas för att täcka in rådande förhållanden i hallbyggnaden. Problem som granskning av konsultens val och liknande uppkommer. Valen kan göras på ett ganska enkelt sätt, med tanke på den utbildning konsulterna har som grund, genom att titta i handböcker och diverse rapporter där det står listat effektutvecklingskurvor för olika typer av material. Det förväntas av EKS 9 att den som utför dimensioneringen besitter de kunskaper som krävs för att upp nå föreskriften § 9 lokal brand:

”Brandförloppet och temperaturutvecklingen vid lokal brand ska beräknas med hänsyn till de förhållanden som kan förväntas uppstå i byggnaden.”

Boverket har i en tidigare skrivelse förklarat lite mer ingående vad som gäller angående lokal brand. Faktorer som påverkar utrymningsförhållandena bör tas i beaktande när den lokala branden ska bestämmas. Detta gäller faktorer såsom lokalens överblickbarhet, dolda utrymmen etcetera. När konsulten ska bestämma brandförloppet skall hänsyn tas till lagerhöjd, potentiella effektutvecklingar, placering i förhållande till byggnadsdelen etcetera. Det som också är viktigt att ta hänsyn till är byggnadsdelens betydelse för byggnadens stabilitet (Strömgen, 2009).

Författarna är medvetna om att en sådan analys medför en kostnad för beställaren varför det är viktigt att konsulten som utför analysen kan sälja in denna till densamma. Är konsulten duktig och gör en bra analys kan denna eventuellt användas vid liknade projekt och timkostnaden blir inte densamma som i första fallet. Detta gör att konsulter i branschen kan konkurrera med bra analyser i stället för att utföra ett billigt men dåligt brandskydd. Anser inte beställaren att det lönar sig att utföra en analys får beställaren istället vara beredd att utföra bärverket i brandteknisk klass R30.

Analytisk dimensionering?

En vanlig diskussion som uppstod under intervjuerna var huruvida analytisk dimensionering får tillämpas på EKS. Det står inget om förenklad respektive analytisk dimensionering i EKS men däremot står det om EKS i BBRAD, se kapitel 4.1.1. Det är inte bara brandkonsulter som är i behov av ett tydligare regelverk. Även konstruktörer och tillverkare behöver information tidigt i projekteringskedet för att kunna utföra sina beräkningar så bra och kostnadseffektivt som möjligt. Detta kräver ett tidigt samarbete mellan aktörerna i projekteringsprocessen vilket har påtalats både i intervjuer och i litteratur, se Ranby & Karlström (2002).

EKS är en föreskrift som uppmuntrar egna lösningar och utveckling av brandskydd, vilket innebär ett riskbaserat tänkande. Dock är det viktigt att komma ihåg att EKS även används vid förenklad dimensionering av byggnaders brandskydd i BBR. Om metoden lokal brand ska få stämpeln förenklad dimensionering måste ännu fler ramar och riktlinjer än de som nämnts ovan sättas upp, vilket författarna i princip ser som en omöjlighet eftersom metoden byggs upp av ingenjörsmässiga och kvalitativa antaganden. En lokal brand, är som namnet säger lokal och denna är beroende av verksamhet och byggnadens geometri.

4.2 Diskussion angående ekvationer i standarden SS-EN 1991-1-2

I *Svensk standard SS-EN 1991-1-2, Eurokod 1: Laster på bärverk- Del 1-2: Allmänna laster – Termisk och mekanisk verkan av brand* beskrivs dimensionering av bärverk vid brand. I standarden ingår också en bilaga, *Bilaga C Lokal brand* som kortfattat beskriver hur temperaturpåverkan av en lokal brand kan bestämmas med hjälp av uttrycken i samma bilaga. Dessa uttryck varierar beroende på flammans höjd i förhållande till takhöjden, se kapitel 2.

Enligt Brandskyddshandboken (Brandteknik (1), 2005) visar experiment att temperaturen mitt i flammen, cirka 0,5-1,0 meter från flambasen, varierar mellan 700 °C och 1200 °C samt att den i flamtoppen varierar mellan 500 °C och 600 °C beroende på bränsle.

För en lokal brand, som kan placeras i princip var som helst i en byggnad och som enligt avdelning C, EKS 9, ska placeras med hänsyn till bränslets höjd och placering i rummet (Boverket (2), 2013), är det lämpligt att temperaturen beräknas för den punkt som anses vara värsta fallet för konstruktionsdelen. För konstruktionsdelen anses värsta fallet vara då denna är omsluten av flammen, det vill säga värsta mätpunkten måste vara i plymens centrumlinje då avståndet från flammans bas till konstruktionsdelen är väldigt litet eller nära noll. Om en konstruktionsdel är helt omsluten av brand kan strålningstemperaturen representeras av gastemperaturen runt konstruktionsdelen (Swedish standards institute (1), 2007).

Med anledning av begränsningen i ekvation 2.2 samt ovanstående flamtemperaturer görs en konservativ förenkling att temperaturen i flammen antas vara 900 °C, vilken då också blir yttemperaturen hos konstruktionsdelen då denna omges av flammen. Därför används endast ekvation 2.1, 2.2 och 2.3 vid handberäkning av yttemperaturen. För beräkning av temperaturen i konstruktionsdelen kan istället ett datorprogram användas. I denna rapport används programmet TCD och de värmeledningsekvationer som det är uppbyggt av, se Bilaga C, Beräkningsprogram.

Brandgastemperaturen kan i det tidiga brandförloppet antas vara högst 350 °C (Boverket (3), 2013). Övertändning karakteriseras enligt Brandskyddshandboken (2012) av en brandgastemperatur som överstiger 500 °C.

En lokal brand kan antas starta på en punkt, utveckla en viss maxeffekt samt brinna en viss tid på maxeffekt beroende på bränsle, för att sedan svalna av antingen på grund av ett släcksystem eller på grund av bränslebrist. Den lokala branden kan också antas sprida sig till en ny punkt där en ny lokal brand startar samtidigt som den första då svalnar av. Dessa lokala bränder kan mycket väl bilda ett brandgaslager varför hänsyn till brandgaslagrets temperaturpåverkan på stålet måste tas. Därför antas konstruktionsdelen påverkas av det

lokala brandförloppet fram tills avsvälningstemperaturen ligger på 400 °C då sätts denna temperatur konstant. Temperaturen väljs till 400 °C då det anses rimligt och tillräckligt konservativt med hänsyn till temperaturer för brandgaslager givna i BBRAD (Boverket (3), 2013) samt Brandskyddshandboken (Brandteknik (2), 2012).

5. Enskilda parametrars påverkan på ståltemperaturen

För att kunna besvara examensarbetets sista frågeställningar (3,4 och 5) genomfördes beräkningar och simuleringar. Innan simuleringarna påbörjades genomfördes handberäkningar för att bestämma vilka simuleringar som skulle göras, se Bilaga B. För att kunna beräkna värmeöverföringen från flammen till stålet, oavsett flammans förhållande till takhöjden, det vill säga om flammen breder ut sig under taket eller ej, används programmet Temperature Calculation and Design, TCD (Fire Safety Design AB, 2002), se Bilaga C. De beräkningar som ska genomföras är komplicerade och genomförs på ett enklare och snabbare sätt med hjälp av att simulera i TCD. Till skillnad från metoden för att beräkna temperaturökningen i stålet med hjälp av exempelvis F/A-värdet, där temperaturökningen blir den samma för hela tvärsnittet för ett tidsintervall, kan TCD beräkna temperaturökningen i en viss punkt i tvärsnittet.

5.1 Tillvägagångssätt simuleringar

De sex första simuleringarna, som presenteras nedan, besvarar frågeställning 3 och 5 och de efterföljande två besvarar frågeställning 4. Nedan presenteras frågeställning 3, 4 och 5.

3. Vilka/vilken av den lokala brandens egenskaper har störst påverkan på stålbärverket?
4. Vilka parametrar hos branden och stålbärverket är avgörande för att uppnå erfordrad skyddsnivå?
5. Hur ska den dimensionerande lokala brandens egenskaper väljas för att utmana byggnadens brandskydd för att möta kraven som ställs i EKS 9?

Datorprogrammet TCD kan inte bara beräkna temperaturprofilen utan även relativ bärförmåga över tiden för en angiven stålprofil, se även Bilaga C, Beräkningsprogram. För att kunna ta fram relevant indata till skripten som nyttjas i simuleringarna används data som är framtaget med hjälp av en modell uppbyggd i Excel, se Bilaga B. Modellen bygger på den metod som ges i *Bilaga C, Lokal brand, Svensk standard EN 1991-1-2:2002* och ekvationerna 2.1, 2.2 och 2.3 vilka bygger på Heskestads plymekvation se kapitel 2. För att beräkna temperaturen används ekvation 2.2 vilken endast är giltig för temperaturer upp till och med 900 °C. När ekvationen ger temperaturer större än 900 °C sätts dessa till 900 °C, se diskussion kring detta i kapitel 4.2. Excel används även för att jämföra och sammanställa de resultat som simuleringarna i TCD ger.

För att ta hänsyn till en eventuell uppbyggnad av ett brandgaslager samt för att upprätthålla ett konservativt tänkande svalnar branden endast av till 400 °C där den sedan stabiliserar sig tiden ut, det vill säga i 30 minuter, se kapitel 4.2 för motivering av temperaturvalet.

I de första simuleringarna byggs olika effektutvecklingskurvor upp i skriptet det vill säga i en textfil, se Bilaga D för exempel. I skriptet varierar sedan den eller de av brandens egenskaper som är intressant för respektive simulering. Skriptet översätts i sin tur, med hjälp av programmet MATLAB till temperatur – tid – kurvor som TCD använder för att beräkna temperaturen i en, av författarna, utvald stålprofil.

Sex olika parametrar jämförs i det avseende hur mycket dessa påverkar den maximala temperaturen i stålprofilen. Parametrarna väljs ut med hänsyn till det som diskuterats i kapitel 4 samt att det är dessa som måste bestämmas för att kunna använda ekvationerna i standarden, SS-EN 1991-1-2. Det som i första hand jämförs är den maximala temperatur de olika parametrarna medför i en bestämd punkt i stålprofilen. För att göra detta möjligt varieras endast en parameter åt gången medan övriga parametrar hålls konstanta.

Nedanstående parametrar varieras.

- Tillväxthastighet – Simulering 1
- Effektutveckling per kvadratmeter, HRRPUA – Simulering 2
- Avståndet mellan flammans bas och stålprofil, z – Simulering 3
- Tid, låg effektutveckling lång tid mot hög effektutveckling kort tid – Simulering 4
- Diameter, D – Simulering 5
- Maximaleffektutveckling, Q – Simulering 6

För att kunna jämföra resultaten med varandra genomförs simuleringarna på en och samma typ av profil. Profilen är en VKR-profil med måtten 90x90x5 millimeter vilken är en stålprofil som kan användas i fackverksbalkar. Dessutom gör symmetrin hos profilen att valet av mätpunkt för temperatur får mindre betydelse då profilen exponeras lika mycket runt om, se tabell 5.1 för egenskaper hos profilen.

Tabell 5.1. Egenskaperna för profil 1.

Profil nr 1	
Typ	VKR
Isolering	luft
Längd	oändlig
Höjd [mm]	90
Bredd [mm]	90
Godstjocklek [mm]	5
F/A [m⁻¹]	212
Typ av stål	Steel EC
Densitet [kg/m³]	7850

I respektive simulering hålls fem av sex parametrar konstanta medan den sista varieras. Resultatet för varje parameter presenteras i olika temperatur – tid – kurvor för stålprofilen samt tabeller där maxtemperaturen anges med avseende på den parameter som varieras. För att få en jämförelse med standardbrandkurvas (Karlsson & Quintiere, 2000) påverkan på konstruktionen presenteras även denna i respektive graf.

Efter de sex simuleringarna undersöks två olika parametrar hos stålet, godstjocklek samt profiltyp. Dessa parametrar kommer också presenteras med kritisk bärförmåga som slutresultat för att lättare kunna dra en slutsats om hur respektive parameter påverkar. Simuleringarna utförs med indata från simulering 1-6, med undantag för att profilen byts ut, för att se hur en ändring av stålprofilen påverkar ståltemperaturen. Nedanstående parametrar är de som kommer att varieras:

- Godstjockleken hos VKR-profilen varieras mellan fyra och sex millimeter – Simulering 7
- Tre andra typer av profiler simuleras, UPE, IPE samt HEA – Simulering 8

5.2 Tillväxthastighet – simulering 1

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 1.

5.2.1 Parameter som varierar

I simulering 1 varierar tillväxthastigheten medan övriga parametrar är konstanta.

Tillväxthastigheten varierar enligt tabell 5.2.

Tabell 5.2. De olika tillväxthastigheterna som undersöktes.

Tillväxthastighet	α
Ultra fast (UF)	0,19 kW/s ²
Fast (F)	0,047 kW/s ²
Fast/medium (F/M)	0,0259 kW/s ²
Medium (M)	0,012 kW/s ²

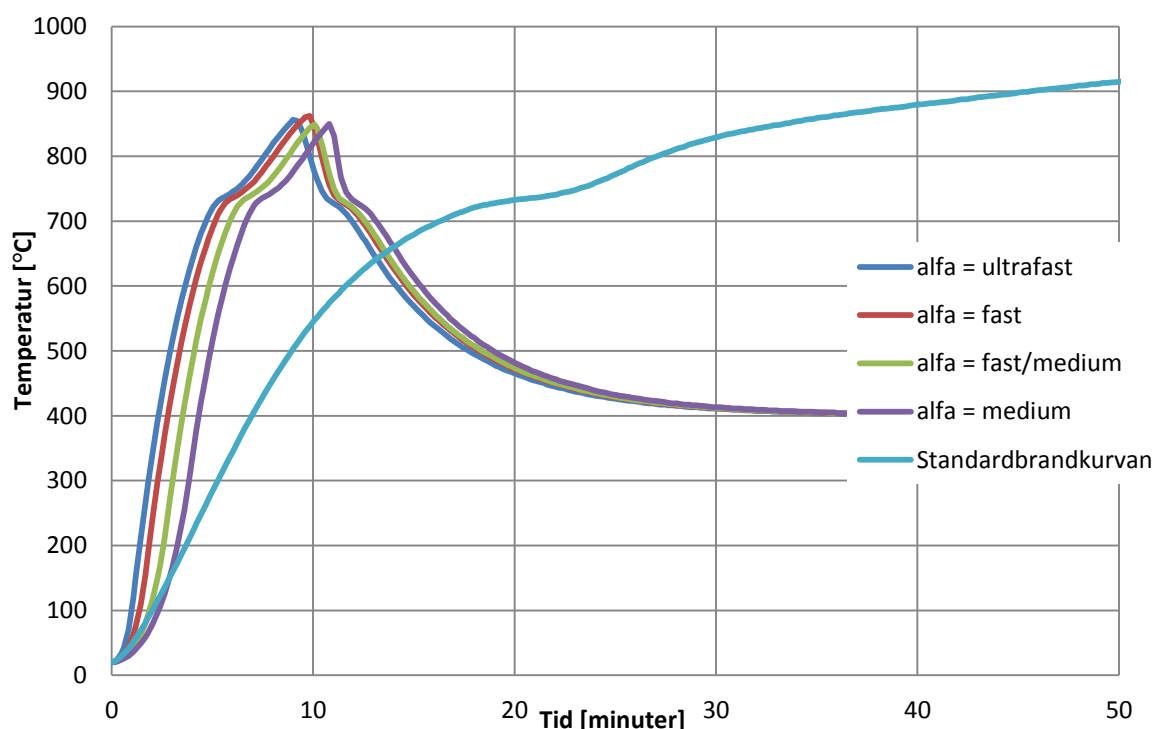
Den maximala effektutvecklingen hölls konstant på 3 megawatt under de fyra simuleringarna. Diametern bestämdes till 1 meter och avståndet från flammans bas till stålprofilen sattes till 2,5 meter. En anledning till valet av de konstanta parametrarna är att dessa tillsammans ligger inom giltighetsområdet för ekvation 2.2.

Som mall för beräkningarna används ett skript som är uppbyggt efter ett brandförlopp i en soffa (Särdqvist, 1993), se Bilaga D, Skriptfil. Skriptet ändras så att de förutsättningarna som beskrivs ovan används och MATLAB omvandlar effektutvecklingskurvan till en temperatur – tid – kurva, se Bilaga C. I denna simulering, kallad simulering 1.1, tillåts alla tillväxthastigheter nå maxeffekten 3 megawatt för att sedan hållas stadiga på 3 megawatt i 100 sekunder. Efter dessa 100 sekunder avsvagnar samtliga bränder till 20 kilowatt efter tiden 700 sekunder. Temperaturen som funktion av tiden kan avläsas i figur 5.1. Dessa värden baseras på en 3 megawatts brand i en soffa enligt *Initial Fires* (Särdqvist, 1993).

För att kontrollera hur mycket avsvagningsfasen spelar roll för slutresultatet genomförs ännu en simulering, 1.2, men denna gång får samtliga effektutvecklingskurvor tillväxa i respektive hastighet för att nå maximal effektutveckling, 3 megawatt, för att sedan vid tidpunkten 300 sekunder svalna av till 20 kilowatt på 100 sekunder. Skillnaden mot simulering 1.1 är att en snabbare tillväxthastighet ger än längre varaktighet på maximal effektutveckling men varaktigheten av respektive brandförlopp är samma för alla tre försök, se figur 5.2.

5.2.2 Resultat

Resultatet från simulering 1.1 visar att ultrafast, UF, tillväxthastighet stiger till sin maximala temperatur snabbast för att sedan avta först. Övriga delsimuleringar följer ungefär samma kurva bara att det tar längre tid tills dessa når maxeffekt, se figur 5.1.



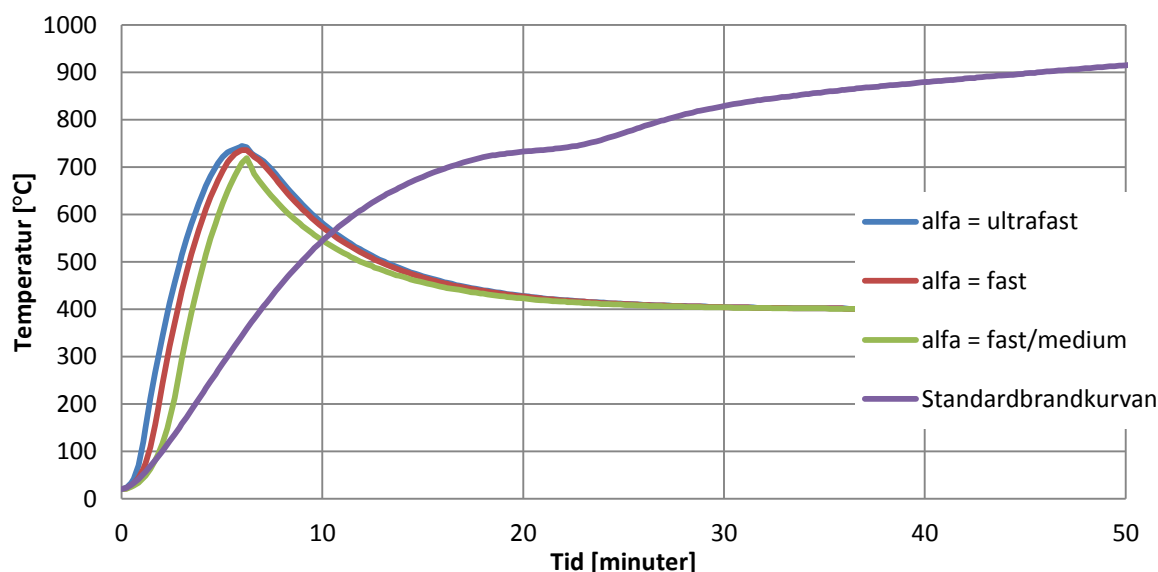
Figur 5.1. Grafen visar ståltemperaturen från simulering 1.1 med varierad tillväxthastighet i kW/s^2 , $Q=3$ megawatt, $z=2,5$ meter och $D=1$ meter.

Resultatet är i sig inte förvånande och det verkar som om tiden spelar större roll för temperaturen inuti konstruktionen än hur snabbt branden tillväxer. Det skiljer cirka två minuter mellan UF tillväxt och medium, M, tillväxt att nå $700\text{ }^\circ\text{C}$ i stålet. Det som också kan avläsas ur tabell 5.3 är att när kurvan som tillväxer snabbast har nått $700\text{ }^\circ\text{C}$ har den kurvan som tillväxer långsammast endast nått $500\text{ }^\circ\text{C}$. Dock skiljer det endast två minuter för ytterligheterna och tillväxthastigheten ser inte ut att ha så stor betydelse. En jämförelse med standardbrandkurvan visar att tillväxthastigheten för ett lokalt brandförlopp är betydligt snabbare än för standardbrandkurvan, det som skiljer dessa åt är att den lokala branden hinner svalna av igen medan standardbrandkurvan fortsätter att stiga. Dock når samtliga kurvor samma maxtemperatur i stålet under respektive brandförlopp.

Tabell 5.3. Olika tidpunkter för när respektive alfavärdena i simulering 1.1 når olika temperaturer.

	Tid [minuter]			
Temperatur [$^\circ\text{C}$]/alfavärde [kW/s^2]	0,19 (UF)	0,047 (F)	0,0295 (F/M)	0,012 (M)
500	2,9	3,4	4,1	4,9
600	3,6	4,08	4,8	5,6
700	4,7	5,1	5,9	6,6
800	7,5	8,04	8,8	9,6

Resultatet av simulering 1.2 visar att branden med ultrafast tillväxthastighet når sin maxtemperatur snabbast. Eftersom kurvorna i simulering 1.2 varar olika länge på maximal effektutveckling innebär det även att effektutvecklingskurvan med ultrafast tillväxthastighet påverkar konstruktionen med en högre temperatur under en längre tid eftersom den maximala effektutvecklingen varar längre, se figur 5.2.



Figur 5.2. Grafen visar ståltemperaturen från simulering 1.2, med varierad tillväxthastighet i kW/s^2 , $Q=3$ megawatt, $z=2,5$ meter och $D=1$ meter.

Det som kan avläsas i figur 5.2 är att ingen av simuleringarna når lika höga temperaturer som i simulering 1.1. Detta beror till största del att dessa har en kortare tid på maximal effektutveckling. Liksom tidigare tillväxer standardbrandkurvan långsammare än det lokala brandförloppet, men till lika ska konstruktionen klara av ett 30 minuters brandförlopp. Resultatet, se tabell 5.4, visar att skillnaden att nå en viss temperatur i tillväxtfasen är ungefär samma som i tabell 5.3. Det som också kan avläsas från både figur 5.2 samt tabell 5.4 är att den effektutvecklingskurva som tillväxer snabbast har längre varaktighet på maximal effektutveckling och håller därmed en högre temperatur under en längre tid, skillnaden i tid kan avläsas i tabell 5.4.

Tabell 5.4. Olika temperaturer och tider för de olika alfavärdena i simulering 1.2.

Temperatur [°C]/alfavärde [kW/s^2]	Tid [minuter]		
	0,19 (UF)	0,047 (F)	0,0259 (F/M)
500	2,9	3,4	4,1
600	3,6	4,1	4,8
700	4,7	5,2	5,9
Tid på 700 grader	2,5	2,1	0,6

Skillnaden i tid är cirka en till två minuter vilket inte anses spela särskilt stor roll för resultatet i stort, vilket här syftar till 30 minuter som är den tid som konstruktionen skall stå. Resultatet från författarnas simuleringar backas upp av en tidigare undersökning av tillväxthastighetens roll för slutresultatet, som är tid till kritiska förhållanden. Undersökningen visar att för effektutvecklingar upp till 4000 kilowatt spelar inte tillväxthastigheten så stor roll för slutresultatet och för högre effektutvecklingar, upp till 8000 kilowatt, har den större betydelse (Kong et.al, 2012). Dock kan det om tabell 5.5 jämförs med tabell 5.3 visas att skillnaden i temperatur inuti en konstruktion på grund av tillväxthastigheten inte spelar större roll för en högre maximal effektutveckling. Däremot nås respektive temperatur aningen snabbare men det skiljer endast sekunder.

Tabell 5.5. Olika temperaturer och tider för de olika alfavärdena i simulering 1 med en maximal effektutveckling på 8 megawatt.

Temperatur [°C]/alfavärde [kW/s ²]	Tid [minuter]		
	0,19	0,047	0,0295
500	2,6	3,1	3,4
600	3,3	3,8	4,1
800	7,3	7,8	8,0

5.3 HRRPUA – simulering 2

Nedan presenteras tillvägagångssätt samt resultat för simulering 2 i vilken det undersöks huruvida samma effektutveckling per kvadratmeter (HRRPUA) ger samma temperatur i plymen respektive i konstruktionen, även om D och Q väljs på olika sätt. I denna simulering används både Excel och TCD. I Excel används ekvation 2.2 när beräkning av plymtemperaturen genomförs.

5.3.1 Resultat

I tabell 5.6 presenteras temperaturen i konstruktionen med hjälp av ekvation 2.2 för olika Q, maximal effektutveckling, D, diameter och HRRPUA, effektutveckling per areaenhet.

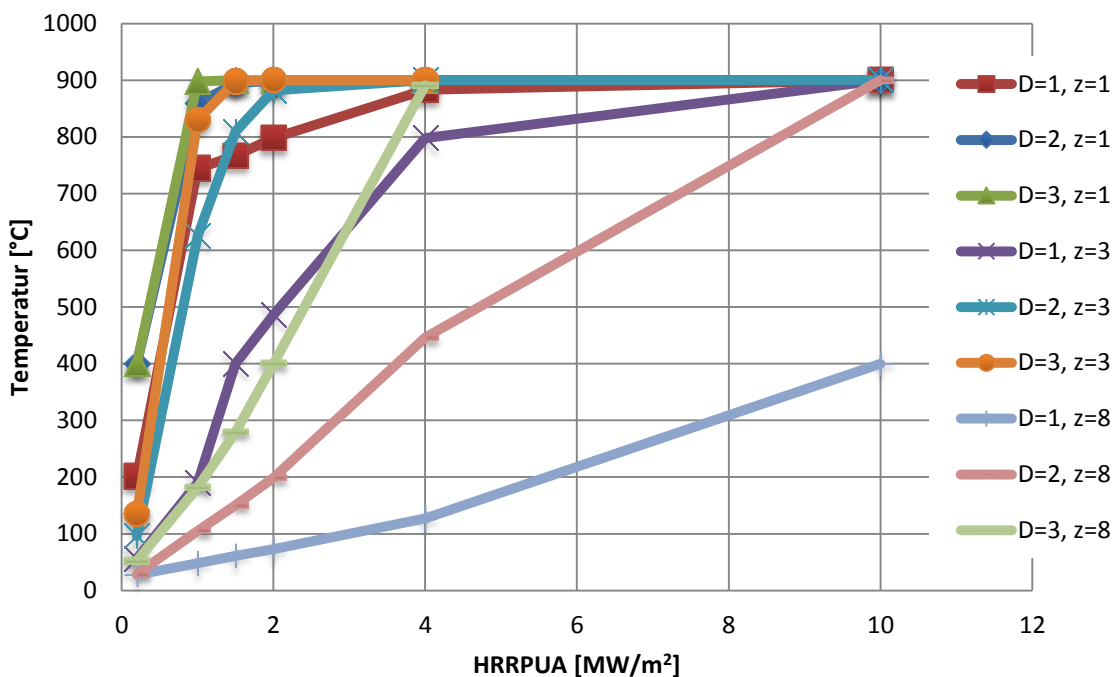
Tabell 5.6. Effektutveckling per area med olika Q och D med resultatet temperatur.

HRRPUA [MW/m ²]	z [m]	Q [MW]	D [m]	T [°C]
1,6	1,5	5	1	215,7
1,6	1,5	10	2,82	328,0
1,6	1,5	7	2,36	264,3
0,5	1,5	5	3,57	164,4
0,5	1,5	7	4,22	191,6
0,5	1,5	10	5,04	223,7
1	1,5	10	3,57	284,9
1	1,5	7	2,99	235,1
1	1,5	5	2,52	195,6
1,8	1,5	5	1,88	220,5
1,8	1,5	7	2,23	271,4
1,8	1,5	10	2,66	338,7

Som kan avläsas ur tabell 5.6 går det inte att endast jämföra resultatet för variationen av HRRPUA:s påverkan på temperaturen, eftersom resultatet varierar både med D samt Q. Det är viktigt att ha detta i åtanke när brandens egenskaper skall bestämmas, att ändra Q eller D trots att samma HRRPUA behålls kan skilja flera 100 grader då temperaturen i konstruktionen skall beräknas, för vidare analys se kapitel 6.

Det som dock ska påpekas är att om en konsult i första hand måste välja ett HRRPUA för en viss verksamhet och en viss diameter blir resultatet mer korrekt och likt verkligheten. Anledningen till att det inte är bra att välja en maximaleffektutveckling och en diameter är på grund av att då är det lätt att mixtra med diametern så att HRRPUA blir lägre. Dessutom innebär ett val av en större diameter för en viss maximal effektutveckling en mindre flamlängd och då blir temperaturen svalare i plymen ovan flammen. Genom att välja en HRRPUA samt en diameter kommer inte skillnaden i resultat variera lika mycket konsulter och dimensioneringsmetoder emellan. Diametern kan väljas efter hur det ser ut i lokalen. För ytterligare analys se simulering 5 och 6.

Med hjälp av TCD gjordes olika simuleringar där HRRPUA varierades. I figur 5.3 sammanställs delar av resultatet. Avstånd mellan flammans bas och stålprofil, z , är 1, 3 och 8 meter och diametern av branden har varierats mellan 1, 2 och 3 meter. HRRPUA varieras mellan $0,2-10 \text{ MW/m}^2$. Ju närmare stålprofilen desto högre temperatur i stålet, för vidare analys, se simulering 3. En större diameter för samma HRRPUA som till exempel 2 MW/m^2 för de tre olika diametrarna innebär också att det blir varmare i konstruktionen för en större diameter, på grund av att den maximala effektutvecklingen blir större. För en effektutveckling mindre än 3 MW/m^2 innebär en diameter på 1 meter och ett z på 3 meter högre temperatur inuti stålet än en diameter på 3 meter och ett z på 8 meter. För mer än 3 MW/m^2 medför den större diametern och det större z -värdet en högre temperatur inuti stålet jämfört med en mindre diameter och ett mindre z -värde. Detta kan bero på att med stigande HRRPUA med samma diameter ökar ständigt den maximala effektutvecklingen och tillslut spelar den ökade effektutvecklingen, det vill säga ökande diametern, större roll än avståndet mellan flammans bas och stålprofilen, detta analyseras vidare i simulering 3. Med dessa kombinationer av z och diameter ligger skärningspunkten mellan de olika linjerna på 3 megawatt, om dessa kombinationer ändras kommer skärningspunkten att flyttas.



Figur 5.3. Variation av HRRPUA i förhållandet till maximal ståltemperatur.

5.4 Avstånd mellan flammans bas och konstruktion, z – simulering 3

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 3 i vilken parametern z , avståndet från flammans bas till den höjd i plymen där temperaturen mäts, som varierar. Ekvationen är som tidigare nämnts endast giltig upp till och med $900 \text{ }^\circ\text{C}$. I simuleringarna anges z som avståndet från flammans bas till den punkt där stålprofilen befinner sig. I denna simulering hålls diametern, D , konstant till 3 meter och effektutvecklingen, Q , konstant till 5 megawatt. Dessa värden valdes för att de ligger inom giltighetsspannet för ekvationen som

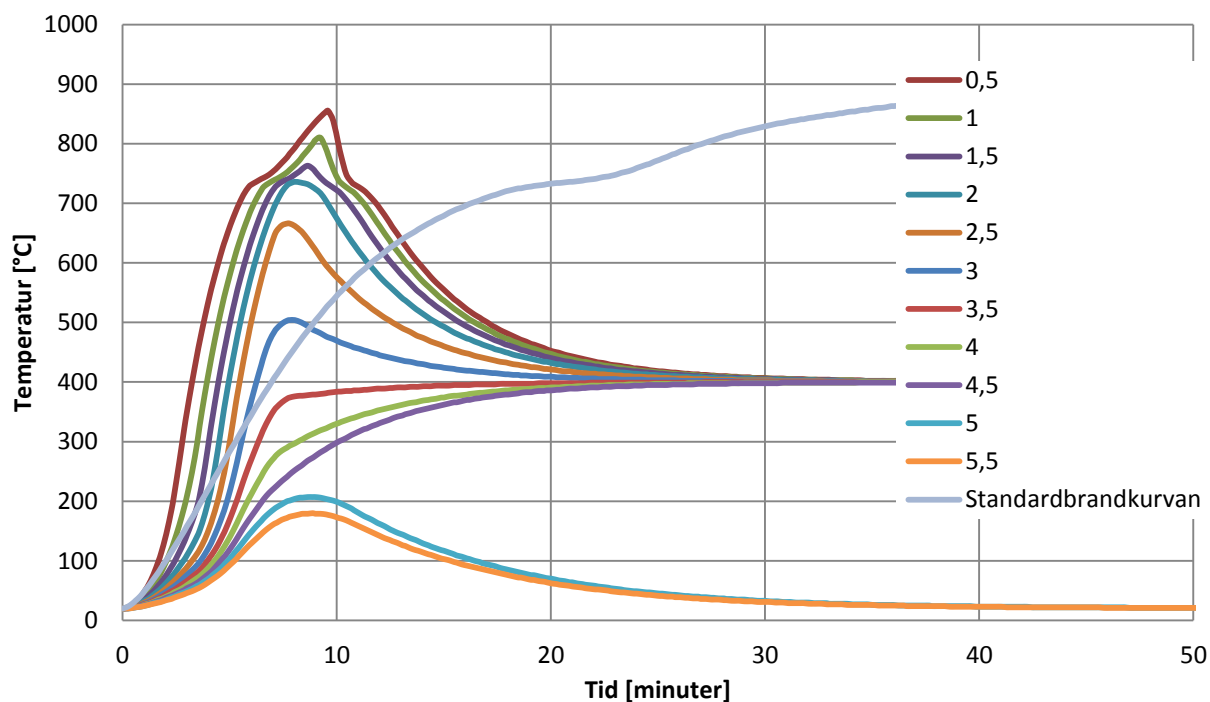
används under beräkningarna. Standardbrandkurvans temperaturpåverkan på stålet visas också i grafen.

5.4.1 Resultat

Nedan ses resultatet för simuleringen i temperatur-tid-grafer, se figur 5.4. Det är tydligt att ett kortare avstånd mellan flammans bas och stålprofilen ger en högre maxtemperatur i stålprofilen samt att profilen också får en högre temperatur under en längre tid. Tabell 5.7 visar att temperaturskillnaden är störst vid en variation av z när ståltemperaturen ligger mellan cirka 400 °C och 700 °C. Vid en ytterligare analys för att se om detta stämmer även för andra effektutvecklingar konstaterades att så var fallet. En lägre effektutveckling innebär större temperaturskillnader för lägre z -värden samt att en högre effektutveckling ger större temperaturskillnader för större z -värden, se figur G.1 och G.2 samt tabell G.1 och G.2 i Bilaga G. Vid en jämförelse med standardbrandkurvan blir temperaturen i stålprofilen för lägre z -värden betydligt högre i ett tidigare skede i brandförloppet medan den sedan svalnar av och istället understiger ståltemperaturen given av standardbrandkurvan. Detta beror såklart på skillnaden i brandförloppen.

För de z -värden där temperaturen i konstruktionen inte överstiger 400 °C antas inte heller brandgaslagret uppnå denna temperatur, varför dessa följer brandförloppet och svalnar av till rumstemperatur. För z mellan 3,5 - 4,5 meter överstiger temperaturen i plymen 400 °C men på grund av stålets termiska tröghet (värmekapacitiviteten) och värmeledningsförmåga blir stålet aldrig varmare än 400 °C, se figur 5.4. Det skall tilläggas att om inte brandgaslagrets fiktiva temperatur hade satts till 400 °C är det inte säkert att ståltemperaturen hade nått 400 °C för detta intervall av z .

Det kan tyckas att den maximala temperaturen i stålet borde bli högre än vad den blir för de höga effektutvecklingarna med låga z -värden. De kommer knappt upp i 900 °C trots att stålprofilen i princip befinner sig i flammen vilken antas ha en temperatur på 900 °C. Detta har att göra med stålets termiska tröghet och värmeledningsförmåga samt hur effektutvecklingskurvan ser ut. Längre tid på en högre effektutveckling ger en högre temperatur i stålet.



Figur 5.4. Grafen visar ståltemperaturen från simulering 3, z varierar mellan 5,5 och 0,5 meter, konstant effektutveckling, 5 megawatt, samt konstant diameter, 3 meter.

Tabell 5.7. Visar högsta uppmätta temperatur i konstruktionen samt skillnaden mellan dessa för olika z då Q=5 megawatt och D=3.

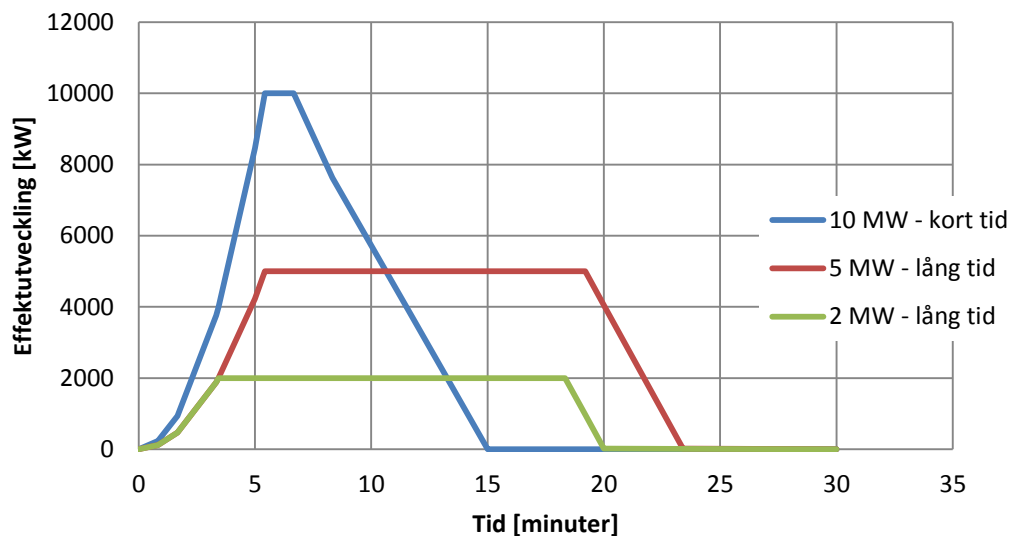
z [m], Q=5 MW	Högsta temperatur [°C]	Skillnad i temperatur [°C]
0,5	855	-
1	810	45
1,5	763	47
2	736	27
2,5	666	70
3	504	162
3,5	400	104
4	400	0
4,5	400	0
5	207	193
5,5	180	27

5.5 Varaktighet - simulering 4

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 4 i vilken skillnaden mellan ett kort brandförlopp med hög effektutveckling och ett långt brandförlopp med lägre effektutveckling jämförs. Det vill säga den parameter som varierar är varaktigheten av branden. Indata för simuleringarna kan avläsas i tabell 5.8.

Tabell 5.8. Indata för simuleringarna i TCD.

	Kort tid	Lång tid	Lång tid
Profil nr	1	1	1
Tillväxthastighet	0,094	0,047	0,047
Maxeffekt	10	5	2
z	1,5	1,5	1,5
Diameter	1,0	1,0	1,0
Övrigt, se figur 5.5	Tiden för branden är 15 minuter och maximal effektutveckling hålls i en minut.	Tiden för branden är 30 minuter och maximal effektutveckling hålls i 14 minuter.	Tiden för branden är 30 minuter och maximal effektutveckling hålls i 14 minuter.

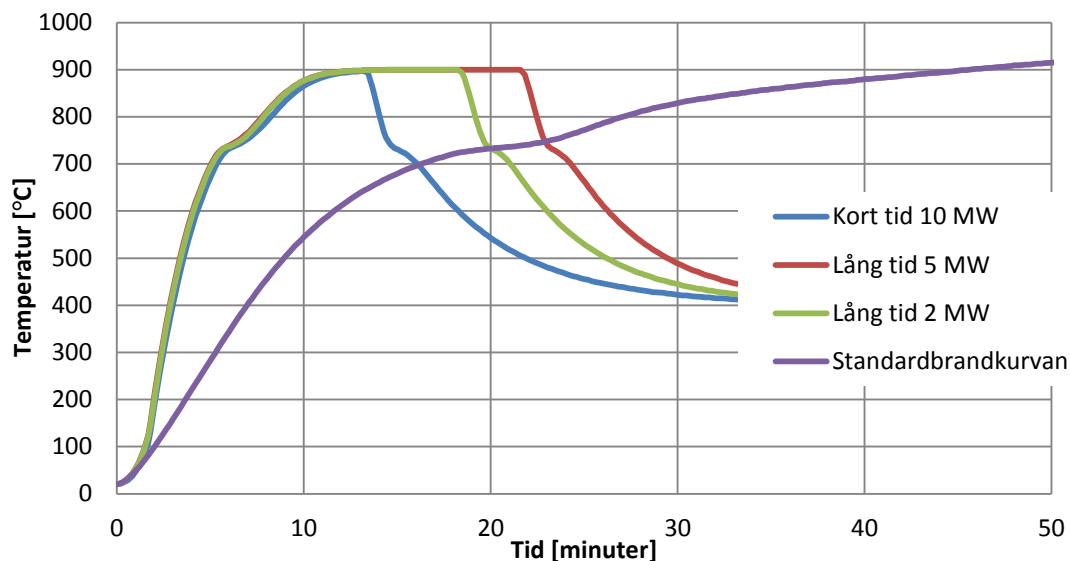


Figur 5.5. De olika effektutvecklingskurvorna för kort respektive lång tid.

Tillväxthastigheten sattes till $0,047 \text{ kW/s}^2$ för de simuleringar som pågår under en längre tid och $0,094 \text{ kW/s}^2$ för simuleringen som pågår under kortare tid (för att kunna jämföra kort och lång tid) med motivering att en snabb tillväxthastighet är konservativt. Det långa brandförloppet kan tänkas representera ett brandförlopp som sprider sig men som inte innebär en övertändning i lokalen. Det korta brandförloppet representerar en brand som till exempel blir begränsad av sprinkler. De olika maximala effektutvecklingarna som används är 10, 5 respektive 2 megawatt. Avsvalningsfasen representeras av en linjär avtagande linje för att hålla samma linje som i tidigare simuleringar, dock varierar som tidigare nämnts tidsförloppet under denna simulering.

5.5.1 Resultat

I figur 5.6 visas resultatet från simuleringarna grafiskt.



Figur 5.6. Grafen visar ståltemperaturen från simuleringarna med varierad tid samt maximal effektutveckling.

Eftersom samtliga effektutvecklingar når 900 °C innebär detta att simulering 2, *lång tid 5 MW*, utgör störst påfrestning på konstruktionen, se röd linje i figur 5.6. Men även en skillnad på 8 megawatt, som det är mellan *kort tid 10 MW* och *lång tid 2 MW*, ger ingen skillnad för temperaturen i konstruktionen även om tiden på den maximala effekten är längre, se figur 5.6. Den totala effektutvecklingen är ungefär den samma för *kort tid 10 MW* och *lång tid 5 MW*. 2 MW under lång tid ger ungefär en tredjedels total effektutveckling jämfört med 5 och 10 MW, trots detta utgör den låga effektutvecklingen under lång tid en större påfrestning på konstruktionen. En jämförelse med standardbrandkurvan visar att respektive brandförlopp tillväxer snabbare än standardbrandkurvan och uppnår högre temperatur under en längre period jämfört med standardbrandkurvan för samma tidsintervall. Detta gäller framför allt brandförloppen på 2 respektive 5 megawatt. Att dessa två håller en ganska lik påfrestning på konstruktionen temperaturmässigt som standardbrandkurvan kan bero på att tiden för dessa kurvor är satt till 30 minuter. En av anledningarna till att de simulerade brandförloppen utgör större påfrestning mot konstruktionen jämfört med standardbrandkurvan är för att konstruktionen befinner sig i flamman på grund av det låga z-värde som valts.

För att få en bättre förståelse för hur konstruktionen påverkas av lång/kort varaktighet genomfördes även en mekanisk analys av olika brandutsatta konstruktionsdelar med hjälp av TCD. Den relativa bärförmågan över tiden i brandtillståndet bestäms av relativ tryck- och draghållfasthet samt relativ E-modul hos stålet, se även avsnitt 3.4 om mekanisk analys. Minsta tillåtna övre sträckgräns är satt till 355 megapascal då detta är ett vanligt värde på dagens konstruktionsstål.

En mer ingående analys av hur de olika brandförloppens varaktighet påverkar kritisk bärförmåga hos olika konstruktionsdelar presenteras i Bilaga F. Där gjordes en analys av olika stålprofiler som utsattes för fem olika brandförlopp. För respektive brandförlopp av dessa

gjordes två simuleringar, en med kort varaktighet på maximal effektutveckling och en med lång varaktighet på den maximala effektutvecklingen, 30 minuter. Resultatet från dessa simuleringar visar att skillnader i kritisk bärförmåga hos de olika konstruktionsdelarna varierar mellan 0,1 - 80 procentenheter. Som exempel visas brandförlopp 4 nedan, se tabell 5.9 för indata och tabell 5.10 för kritisk bärförmåga.

Tabell 5.9. Brandförlopp 4 vars varaktighet varierar.

Brandförlopp	Maximal effektutveckling [MW]	Diameter [m]	Avstånd, z [m]
4	5	2	4

Tabell 5.10. Resultatet från simulering i TCD med brandförloppen ovan med olika total varaktighet.

Primärbalk brandförlopp 4	Kritisk bärförmåga [%]	Stegvis skillnad [procentenheter]
Diagonal fackverksbalk 25 min (3 min på maxeffekt)	35	
Diagonal fackverksbalk 30 min (23 min på maxeffekt)	12	~23
Överram fackverksbalk	100	
Överram fackverksbalk 30 min	57	~43
Underram fackverksbalk	100	
Underram fackverksbalk 30 min	14	~86

De slutsatser som kan dras från ovanstående tabell är att tiden en konstruktion utsätts för en effektutveckling har stor påverkan på slutresultatet, stålets kritiska bärförmåga. Valet av varaktigheten hos brandförloppet kommer alltså att spela stor roll för konstruktionens slutresultat. Dock blir skillnaden i kritisk bärförmåga på grund av brandförloppets varaktighet mindre då det är kortare avstånd mellan flammans bas och konstruktion samt när högre effektutvecklingar används, se även bilaga F.

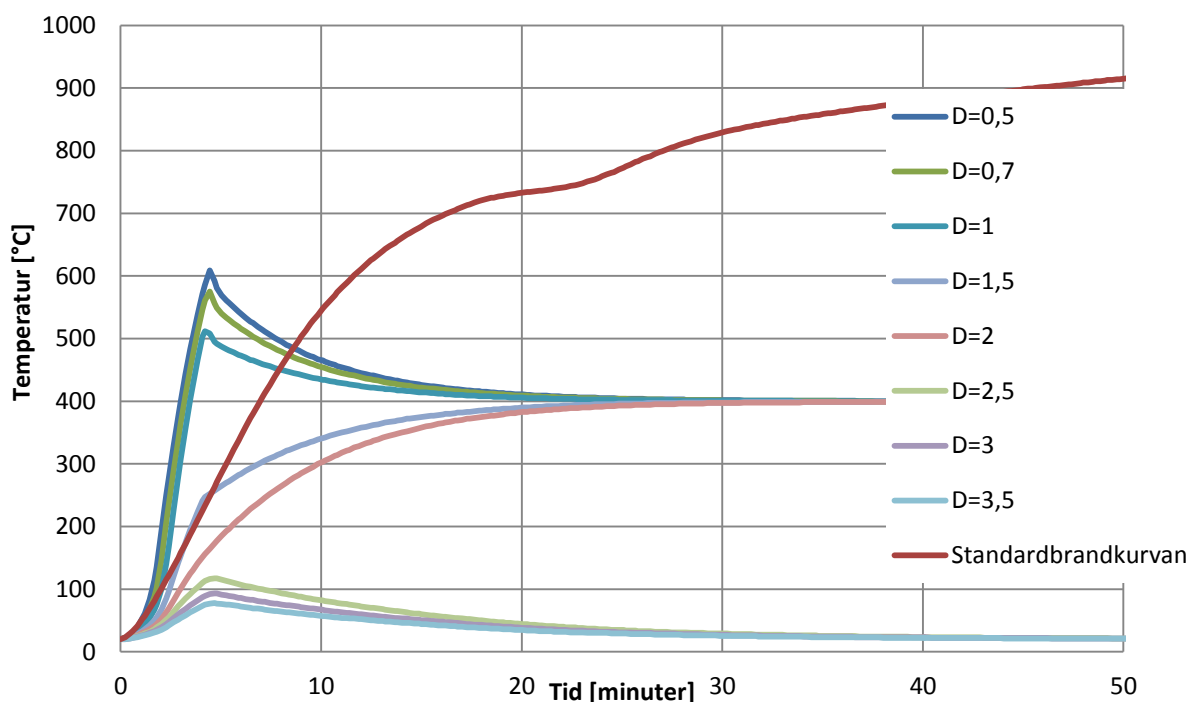
5.6 Diameter - simulering 5

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 5 i vilken diametern varierar. Detta innebär även att HRRPUA varierar eftersom den maximala effektutvecklingen är konstant 1 megawatt. Indata för simuleringarna presenteras i Bilaga E.

Tillväxthastigheten sattes till $0,047 \text{ kW/s}^2$ för samtliga simuleringar för att denna inte skulle avgöra slutresultatet. Den maximala effektutvecklingen sattes till en megawatt för samtliga brandförlopp. Valet grundas i att ingen av simuleringarna då når 900 °C och avgränsas därmed inte uppåt av ekvationens giltighetsspann. Avsvlningsfasen är med samma motivering som i tidigare simuleringar approximerad med en linjär avtagning. Avståndet mellan flammans bas och konstruktion, z, är satt till 2 meter.

5.6.1 Resultat

I figur 5.7 visas resultatet från simuleringarna grafiskt.



Figur 5.7. Grafen visar ståltemperaturen från simuleringarna med varierad diameter i meter.

En mindre diameter för en konstant effektutveckling ger en högre temperatur i stålprofilen. En mindre diameter ger också ett större HRRPUA då effektutvecklingen hålls konstant vilket också leder till högre ståltemperatur. Detta eftersom flammen blir längre vid en mindre diameter och en konstant effektutveckling, det vill säga en högre HRRPUA. I simuleringen har en låg effektutveckling använts varför temperaturerna i figur 5.7 är relativt låga jämfört med tidigare simuleringar. Vid en jämförelse med standardbrandkurvan kan det avläsas att brandförloppen med mindre diameter tillväxer snabbare än standardbranden men eftersom den maximala effektutvecklingen är relativt låg utgör standardbranden den värsta påfrestningen gentemot konstruktionen.

I tabell 5.11 kan det avläsas att en skillnad på 50 centimeter i diameter ger en skillnad på nästan 100 °C i uppkommen maximal temperatur.

Tabell 5.11. Högsta uppkomna temperaturen i stålet för olika effektutveckling.

D [m]	Högsta temperatur [°C]	Skillnad i temperatur [°C]
0,5	609	
0,7	575	34
1	512	63
1,5	400	112

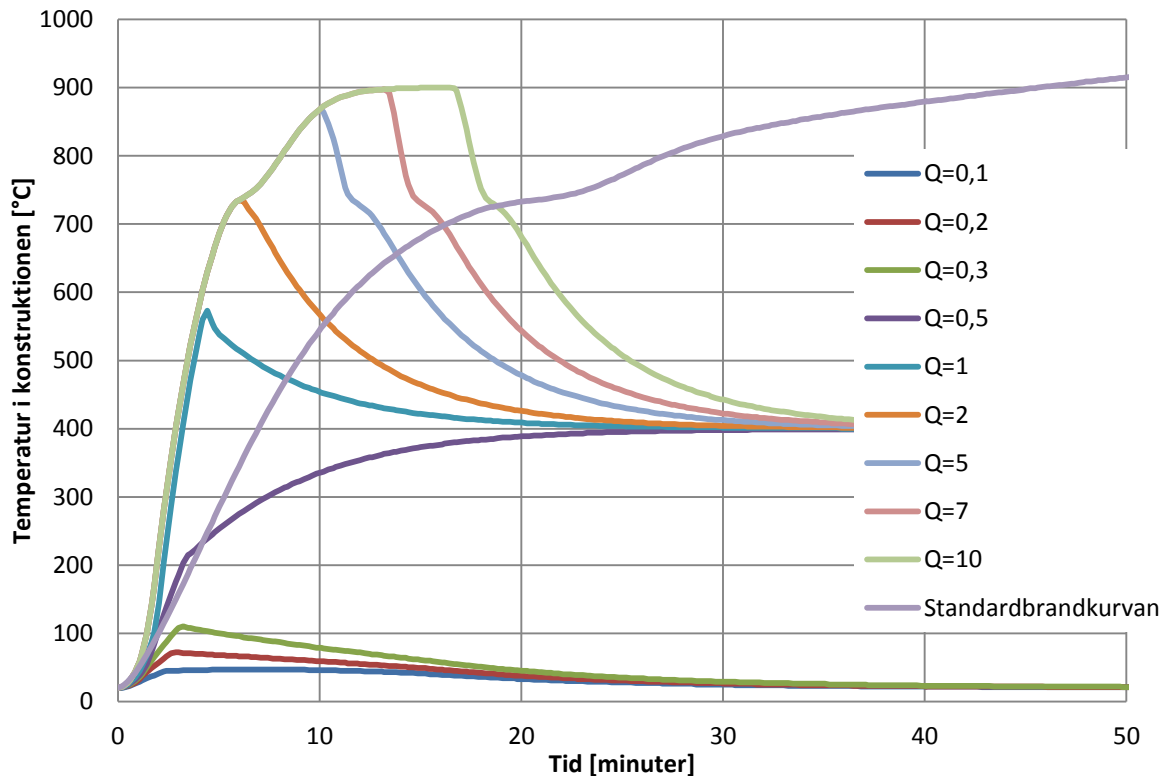
5.7 Maximal effektutveckling – simulering 6

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 6 i vilken den maximala effektutvecklingen varieras. Eftersom diametern hålls konstant medför detta även en variation av HRRPUA. De olika värden som nyttjats kan avläsas i Bilaga E.

Tillväxthastigheten sattes till $0,047 \text{ kW/s}^2$ för samtliga simuleringar. Detta innebär att de lägre maximala effektutvecklingarna nås snabbare, vilket anses rimligt om det är samma material som brinner men i olika mängd, därav de olika maximala effektutvecklingarna. Varje effektutvecklingskurva har en linjär avsvanling och lutningen på denna är samma i alla simuleringar, detta för att det är rimligt att en brand med en högre effektutveckling, till exempel en soffa jämfört med en fåtölj, har en längre avsvaningsfas. Avståndet mellan flammans bas och stålprofil hålls konstant till 1,5 meter och brandens diameter hålls konstant till 1,2 meter. Dessa värden valdes för att samtliga ligger inom giltighetsspannet för den ekvation som beräknar temperaturprofilen i konstruktionen samt att värdena anses rimliga.

5.7.1 Resultat

I figur 5.8 visas resultatet från simuleringarna grafiskt.



Figur 5.8. Grafen visar ståltemperaturen från simuleringarna med varierad maximal effektutveckling, megawatt.

Det som kan avläsas i grafen och det som också är uppenbart är att en högre effektutveckling ger en högre temperatur. Detta eftersom en högre maximal effektutveckling ger ett större HRRPUA vid konstant diameter samt en högre flamma vilket innebär att det blir varmare närmare konstruktionen om denna hålls på en konstant höjd. Standardbranden kommer inte upp i samma maxtemperatur som de tre högsta effektutvecklingarna. Kurvan har också snabbare tillväxthastighet jämfört med de tre lägsta effektutvecklingarna. Det som kan avläsas

i figur 5.8 är att det endast är 10 megawatt och 7 megawatt som innebär minst lika stor påfrestning på konstruktionen som standardbrandkurvan.

Tabell 5.12. Högsta uppkomna temperaturen i stålet för olika effektutveckling.

Q [MW]	Högsta temperatur [°C]	Skillnad i temperatur [°C]
0,5	400	-
1	573	173
2	735	162
5	868	133
7	898	30

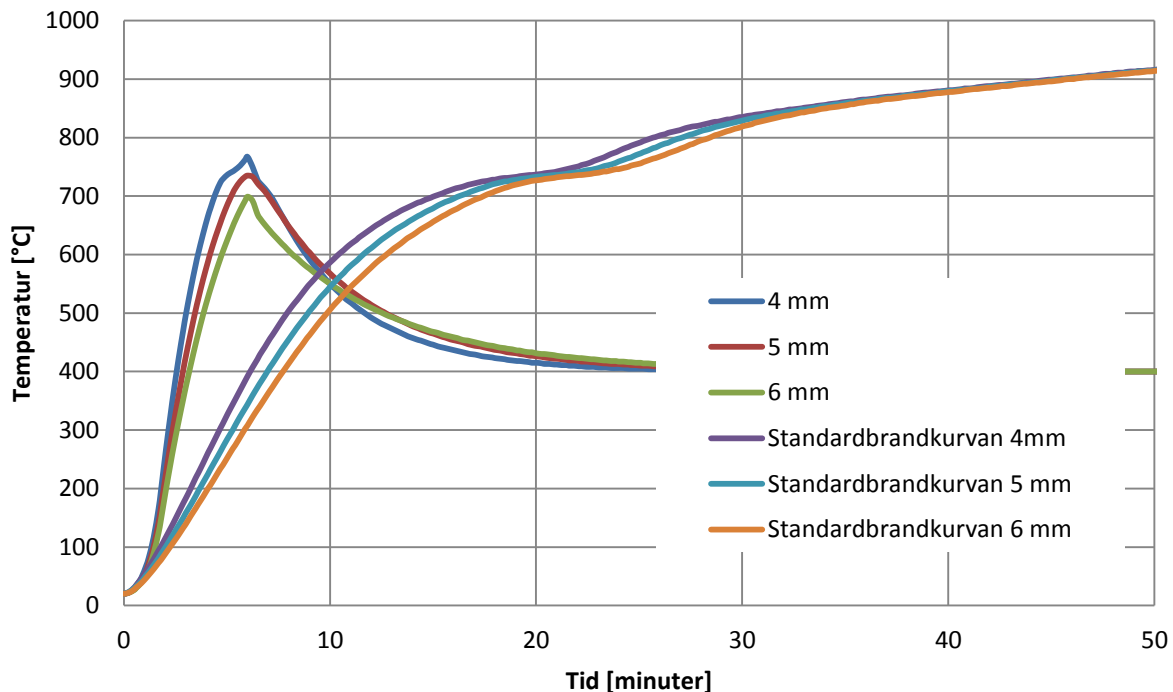
Som kan avläsas ur tabell 5.12 skiljer det 162 °C mellan en effektutveckling på 1 megawatt respektive 2 megawatt. Sedan avtar skillnaden mellan de olika maximala effektutvecklingarna. Detta kan bero på att ekvationen som används för beräkning av plymens temperatur endast är giltig för 900 °C, vilket innebär att programmet automatiskt håller temperaturen på 900 °C när den väl nått dit.

5.8 Godstjocklek – simulering 7

Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 7 i vilken godstjockleken varieras för den VKR-stålprofil som använts i simulering 1-6. Indata för branden tas från simulering 6 vilket medför en maximal effektutveckling på 2 megawatt, avstånd mellan flammans bas och konstruktionsdel, z, 1,5 meter och diameter 1,2 meter. Profilen simuleras med en godstjocklek på fyra samt sex millimeter och dessa kan sedan jämföras med grundsimuleringen där godstjockleken är fem millimeter.

5.8.1 Resultat

I figur 5.9 visas resultatet från simuleringen det vill säga hur temperaturen varierar med tiden för olika godstjocklekar.



Figur 5.9. Temperaturen som funktion av tiden i en VKR-stålprofil med godstjocklek 4, 5 och 6 samt standardbrandkurvans påverkan på respektive profil.

Resultatet för simulering 7 visar att ökad godstjocklek medför att maxtemperaturen i stålprofilen blir lägre. För att få en bättre bild av hur de olika parametrarna tillsammans påverkar temperaturen i stålkonstruktionen jämförs olika variationer i indata med varandra, se kapitel 6. En ökad godstjocklek innebär ett minskat F/A -värde.

Standardbrandkurvan skiljer sig åt på ungefär samma sätt som övriga kurvor. Den profil som har godstjockleken 6 millimeter värms upp långsammare än den profil som har godstjockleken 4 millimeter. Efter 20 minuter ligger samtliga profiler på samma temperatur för att sedan skiljas åt och därefter åter igen uppnå samma temperatur. Detta borde bero på stålets egenskaper vid uppvärmning. Eftersom standardbrandkurvan är ett fiktivt brandförlopp har denna inte någon avsvlningsfas vilket innebär att när temperaturen skall beräknas i stålprofilen är det alltid bättre med en profil med tjockare godstjocklek.

5.9 Stålprofil – simulering 8

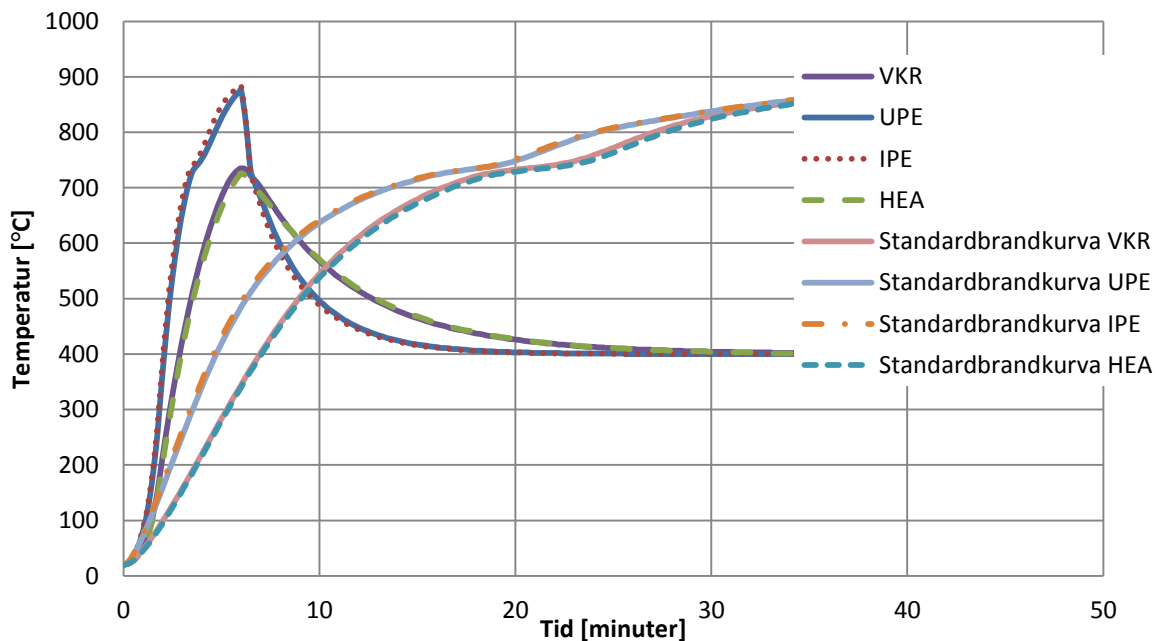
Nedan presenteras indata, tillvägagångssätt samt resultat för simulering 8 i vilken stålprofilen varierar medan brandens egenskaper har valts ut och hålls konstanta. Även här används indata från simulering 6, nämligen maximal effektutveckling på 2 megawatt, avstånd mellan flammans bas och konstruktionsdel, z , 1,5 meter och diameter 1,2 meter. De profiler som används utöver VKR-profilen är UPE, IPE, HEA, se tabell 5.13 för dimensioner.

Tabell 5.13. Beskrivning av de profiler som använts i simulering 8.

Profil nr	1	4	5	6
Typ	VKR	UPE 120	IPE 100	HEA 200
Isolering	luft	ingen	ingen	ingen
Längd	oändlig	oändlig	oändlig	oändlig
Höjd [mm]	90	120	100	190
Bredd [mm]	90	60	55	200
Godstjocklek [mm]	5	5	5,7; liv 4,1	10; liv 6,5
F/A [m ⁻¹]	212	409	416	229
Typ av stål	Steel EC	Steel EC	Steel EC	Steel EC
Densitet [kg/m ³]	7850	7850	7850	7850

5.9.1 Resultat

Resultatet för simulering 8 visar att temperatur-tid-kurvorna för UPE- och IPE-profilen följer varandra nästintill exakt. Detsamma gäller temperatur-tid-kurvorna för HEA- och VKR-profilen som också är väldigt lika, se figur 5.10. Detta visar att F/A-värdet har betydelse för hur stålprofilens temperatur-tidfält ser ut. Det är tydligt att UPE- och IPE-profilen når maxtemperaturen snabbare samt har en högre ståltemperatur under en längre tidsperiod än HEA och VKR, även här spelar F/A-värdet in, där ett högre F/A-värde medför högre temperatur i konstruktionen. Däremot sjunker ståltemperaturen hos UPE- och IPE-profilen snabbare under avsvlningsfasen. Temperatur-tid-kurvorna visar att uppvärmningen tar längst tid för HEA-profilen men det är också den profilen som är varmast under större delen av avsvlningsfasen.



Figur 5.10. Ståltemperatur som funktion av tiden för olika stålprofiler samt standardbrandkurvas påverkan på respektive profil.

Standardbrandkurvan påverkar också profilerna IPE och UPE respektive HEA och VKR på samma sätt som övriga brandförlopp. HEA och VKR tar längre tid att värma upp och har en avsvalningsfas som är längre, dock gäller inte detta då beräkningar med standardbrandkurvan görs, eftersom denna inte har någon avsvalningsfas. Innan tiden 30 minuter är det profilerna VKR och HEA som klarar av temperaturpåverkan från standardbranden bäst.

För simulering 8 genomförs en mekanisk analys av den brandutsatta konstruktionsdelen för att kunna jämföra den relativa bärförmågan över tiden samt kritisk bärförmåga hos olika profiler. Minsta tillåtna övre sträckgräns sattes även här till 355 megapascal och knäcklängden till 1 meter, för att detta är vanligt hos diagonaler i fackverksbalkar. Beräkningarna i TCD visar att profilerna UPE och IPE ger ungefär samma kritiska bärförmåga vid samma tid för respektive simulering. Profilerna HEA och VKR ger också ungefär samma kritiska bärförmåga vid samma tid för respektive simulering, se tabell 5.14. Detta innebär att även F/A-värdet samt val av profil får betydelse för bärförmågan.

Tabell 5.14. Visar kritisk bärförmåga för olika profiler.

Effektutv/Profil	VKR	UPE	IPE	HEA
2 MW	17,98	7,54	7,49	18,89

5.10 Slutsatser från kapitel 5.2-5.9

- Parametern tillväxthastighet kan ge en skillnad på upp till 200 °C i en viss bestämd tidpunkt, dock skiljer det endast två minuter till den långsammare tillväxthastigheten nått samma temperatur som den snabbare förutsatt samma maximala effektutveckling.
- Avståndet i z-led kan innebära en skillnad i temperatur upp mot 160 °C på 0,5 meter. Dock är temperaturen för ett visst z beroende av både val av diameter samt maximeffektutveckling då dessa bestämmer flammans längd. Ju längre flammen är desto närmare konstruktionen kommer denna och desto varmare blir det i konstruktionen.
- En lokal brand med lägre effektutveckling men som pågår under längre tid kan påverka konstruktionen mer jämfört med en högre effektutveckling under kortare tid.
- Stålets termiska tröghet och värmeledningsförmåga innebär att det tar tid att värma upp en konstruktion. Detta medför att även om effektutvecklingen kan tyckas hög och z-värdet lågt, kanske inte konstruktionen kommer upp i den omgivande temperaturen eller flamtemperaturen eftersom den inte utsätts för en högre temperatur tillräckligt länge. Däremot kan uppnådd temperatur vara tillräckligt hög så att den ändå blir kritisk för konstruktionens bärförmåga eftersom atombyggstenarna i materialet stål mister sin formation vid en viss temperatur.
- En mindre diameter med en högre effektutveckling innebär en högre temperatur i stålprofilen. Detta kan dock återspeglas i att en högre effektutveckling med mindre diameter ger en högre flamhöjd vilket innebär att flammen är närmare konstruktionen och påverkas därmed av en högre temperatur. En skillnad på 0,3 meter i diameter kan ge en skillnad i temperatur i konstruktionen på cirka 100 °C. Detta innebär att värdet på HRRPUA får större betydelse, eftersom då kompenseras ett visst värde på Q med en större diameter för att hålla fast vid de faktiska uppmätta effektutvecklingar för olika material som brinner. Ett högre värde på Q ger en större diameter av branden

jämfört med ett lägre värde på Q vilket ger en mindre diameter. Detta borde kompensera flammans längd mer än att bara välja ett Q och sedan en diameter. Det vill säga varje Q är kopplat till en diameter och ett HRRPUA rent fysikaliskt.

- En skillnad i effektutveckling på en megawatt kan ge en skillnad på 150°C i temperatur inuti en konstruktion. Även här ger en högre effektutveckling en högre flammhöjd vilket innebär att det blir varmare närmre stålprofilen för samma z . Skillnaden i uppkommen maximal temperatur hos stålprofilen blir större mellan lägre maximala effektutvecklingar och skillnaden mellan maximal temperatur avtar då maximal effektutveckling ökar.
- En tjockare godstjocklek innebär en långsammare uppvärmning och det kan skilja drygt 100°C för en skillnad på 2 millimeter i godstjocklek. Dock innebär en tjockare profil att denna också håller en högre temperatur under en längre tid jämfört med en tunnare profil. Detta har också att göra med att profilens F/A -värde minskas då godstjockleken ökas.
- UPE och IPE blir uppvärmda snabbast men svalnar också av snabbast. VKR och HEA värms upp långsammare men svalnar då också av långsammare. Här spelar F/A -värdet roll och det är också därför kurvorna för UPE och IPE samt för VKR och HEA ser så lika ut, deras respektive F/A -värden ligger nära varandra. En profil med ett lägre F/A -värde tar längre tid att värma upp på grund av att den exponerade ytan hos denna är mindre i förhållande till profilens tvärsnitt jämfört med en profil med högre F/A -värde.
- Parametrar både hos branden och hos stålet påverkar stålets temperaturprofil.
- Ståltemperaturen i stålet beror till största del på valet av parametrarna som representerar den lokala branden.

6. Samverkande påverkan på ståltemperatur

I detta avsnitt analyseras parametrarnas samverkan på ståltemperaturen. Till att börja med görs en regressionsanalys för att bestämma vilken/vilka parametrar som vid en variation har störst påverkan på ståltemperaturen. Avsnittet avslutas med en jämförelse mellan olika simuleringar där fler parametrar varieras.

6.1 Regressionsanalys

Förutom simuleringar i TCD och beräkningar i Excel genomförs en regressionsanalys för att undersöka hur de ingående parametrarna påverkar temperaturprofilen i utvald stålprofil närmare.

6.1.1 Teori

Regressionsanalyser genomförs då detta är en av de mest användbara metoder för att ha möjlighet att bestämma sambandet mellan en undersökningsvariabel och flera förklarande variabler (Andersson, Jorner, & Ågren, 2010). Målet är att ta reda på vilken förklarande variabel som påverkar undersökningsvariabeln mest förutsatt en variation. Den metod som använts av författarna kallas multipel linjär regressionsanalys och genomförs med hjälp av program i Excel. En multipel linjär regressionsanalys är en teknik för att kunna undersöka om det finns ett statistiskt samband mellan en *undersökningsvariabel* (Y) och två eller flera *förklarande variabler* (X). Med hjälp av regressionsanalysen är det möjligt att bestämma vilken eller vilka av de olika parametrarna hos den lokala branden som påverkar temperaturen i stålprofilen mest. Detta görs med det allmänna uttrycket ekvation 6.1, där a till n är konstanter som anger hur mycket respektive x påverkar y vid en variation av x .

$$y = k + a * x_1 + b * x_2 + \dots + n * x_n \quad \text{Ekvation 6.1}$$

För att ta reda på hur väl förhållandet mellan undersökningsvariabeln samt de förklarande variablerna stämmer överrens med en rät linje används en korrelationsanalys. Ligger korrelationskoefficienten nära 0 finns det inget linjärt samband och variablerna är oberoende. Ju närmre +1 eller -1 korrelationskoefficienten är, desto starkare linjärt samband mellan variablerna (Infovoice, 2002). Målet med analysen är att de förklarande variablerna skall påverka undersökningsvariabeln så att sambandet mellan dessa kan förklaras med ett linjärt samband alternativt ett exponentiellt samband. Undersökningsvariabeln skall vara beroende av de förklarande variablerna. Helst skall korrelationen mellan de förklarande variablerna och undersökningsvariabeln ligga så nära -1 eller +1 som möjligt, eftersom detta innebär att dessa följer en linjär linje och en multipel linjär regressionsanalys anses rimlig att genomföra. De förklarande variablerna skall vara oberoende av varandra varför en korrelation mellan dessa bör vara noll eller ligga nära noll.

Hur stor sannolikheten är att det påstående som ger regressionsanalysen ett visst värde är fel, representeras av ett p -värde. P -värdet är ett mått på hur signifikant resultatet är. Om p -värdet understiger 0,05 anses resultatet från regressionsanalysen vara statistiskt signifikant (Andersson, Jorner, & Ågren, 2010). Ett annat viktigt värde är determinationskoefficienten R^2 som anger hur stor del av variationerna i undersökningsvariabeln som kan förklaras av variationer i de förklarande variablerna, under förutsättning att sambandet är linjärt. För att

determinationskoefficienten inte skall bli bättre bara på grund av att det görs fler observationer används den justerade determinationskoefficienten som även tar hänsyn till antalet observationer, ekvationen för denna kan avläsas nedan. Det justerade R^2 , se ekvation 6.2, viktas fel bättre när det används fler regressioner (Infovoice, 2005).

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) \quad \text{Ekvation 6.2}$$

För att kunna genomföra en multipel linjär regressionsanalys måste en del antaganden göras.

1. De oberoende variablerna och den beroende variabeln har ett linjärt samband.
2. Den beroende variabeln är kontinuerlig.
3. Successiva observationer av den beroende variabeln är okorrelerade.

När regressionsfunktionen används i Excel presenteras resultatet med hjälp av kolumner och rader med olika statistiska uttryck, där konstanterna a till n kan avläsas, se Bilaga H, Indata regressionsanalys.

Slutligen plottas ett diagram med undersökningsvariabeln på x-axeln och uttrycket från regressionsanalysen på y-axeln för att se hur väl dessa punkter stämmer överrens med en rät linje. Gör de inte det kommer regressionsanalysen göras om till en linjär regressionsanalys med transformerade parametrar, då används exponenter och samtliga variabler i regressionsanalysen logaritmeras. Proceduren som beskrivs ovan upprepas och förhoppningsvis stämmer den slutliga plotten bättre överrens med en rät linje när uttrycken är logaritmerade istället.

6.1.3 Avgränsningar

Med anledning av att regressionsanalysen inte skall blir för stor, vilket den hade blivit om alla olika parametrar hade undersökts i kombination med varandra, gjordes en del avgränsningar.

Den första var val av tillväxthastighet. Den tillväxthastighet som används i simuleringarna i TCD är *fast* (0,047 kW/s²). Anledningen till att denna valdes är på grund av att den är relativt vanlig bland tänkbara lokala brandförlopp (Abrahamsson, 1997) och dessutom kan det understödjas med hjälp av simulering 1 i kapitel 5.2 att tillväxthastigheten inte spelar stor roll för den maximala temperaturen inuti konstruktionen. Ytterligare en källa är BBRAD som anger att tillväxthastighet *fast* ska användas då ett dimensionerande brandförlopp för en samlingslokal skall bestämmas (Boverket (3), 2013).

Det är den maximala temperaturen inuti stålprofilen som används i regressionsanalysen oavsett tidpunkt, detta eftersom stålprofilen skall klara av att värmas upp till den högsta temperaturen utan att förlora sin hållfasthet och bärförmåga och därmed ej kollapsa inom den valda tiden, vilket enligt föreskrift i EKS är 30 minuter för byggnadsdelar i brandsäkerhetsklass 3 i Br2-hallbyggnader.

I varje simulering tillåts branden tillväxa enligt ovan för att nå sin maximala effektutveckling och hållas konstant här till tiden 1800 sekunder passerat. Anledningen till att denna tid valdes är för att den maximala temperaturen inuti konstruktionen inte ska begränsas av varaktigheten

hos brandförloppet utan av brandförloppets möjlighet, sett till HRRPUA, diameter samt avstånd, att ge konstruktionen maximal temperatur. I Bilaga K genomförs ytterligare en regressionsanalys på samma sätt med brandförlopp som har kortare varaktighet på sin maximala effektutveckling. Uttrycket som fås från denna regressionsanalys skiljer sig inte märkbart från uttryck 6.5b vilket tyder på att varaktigheten inte har någon större betydelse för hur de olika parametrarna förhåller sig till varandra i hur dessa påverkar stålets temperatur. Godstjockleken får dock större betydelse då varaktigheten är kortare men förhållandet mellan de olika parametrarna är fortfarande detsamma.

Ytterligare en avgränsning är att det endast har använts en profiltyp under undersökningen, en annan typ av profil hade kanske medfört att regressionsanalysen sett annorlunda ut.

6.1.2 Resultat och diskussion

Resultatet visar brandens parametrar samt stålets godstjockleks påverkan på den maximala ståltemperaturen i konstruktionen. Stålprofilen som analyseras är densamma som använts i tidigare simuleringar, se tabell 5.1. Varaktigheten på respektive brandförlopp som använts för de olika observationerna är 30 minuter. Brandförloppet byggs upp med en tillväxthastighet på $0,047 \text{ kW/s}^2$ till den maximala effektutvecklingen nås och där hålls brandförloppet konstant i 30 minuter. Detta för att den maximala temperaturen som brandförloppet kan uppnå även ska uppnås i konstruktionen. Se exempel på skript i Bilaga H där även regressionsanalysens övriga utdata kan hittas.

I regressionsanalysen undersöks hur val av effektutveckling per areaenhet, HRRPUA, diameter, D , avståndet mellan flammans bas och konstruktion, z , samt profilens godstjocklek, GT , påverkar temperaturen inuti konstruktionen. Det genomfördes 96 observationer, se Bilaga H, Indata regressionsanalys. De olika värdena på den maximala temperaturen inuti konstruktionen tas fram med hjälp av programmet TCD, se Bilaga C, Beräkningsprogram.

Mellan vilka värden regressionsanalysen gäller kan avläsas i tabell 6.1. Giltighetsspannet baseras på information om vanliga effektutvecklingar per areaenhet för olika typbränder tagna från Abrahamsson (1997) samt från boken *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000). Eftersom både HRRPUA och D innefattas av det giltighetsspann som används i simuleringarna innebär detta att den maximala effektutvecklingen kommer att variera.

Tabell 6.1. Giltighetsspann för regressionsanalysen.

Förklarande variabel	Enhet	Giltighetsspann
Effektutveckling per areaenhet (HRRPUA)	MW/m ²	1-4
Diameter (D)	m	1 – 4
Avstånd mellan flammans bas och tak (z)	m	3 – 10
Godstjocklek (GT)	mm	4-7

I tabell 6.2 kan korrelationen mellan de olika parametrarna avläsas. De förklarande variabelernas korrelation är skild från 0 men de anses ändå vara oberoende. Korrelationen mellan de förklarande variabelerna och undersökningsvariabeln är inte stark, nära $-1/+1$, men ändå skild från noll vilket innebär att någon form av beroende mellan dessa råder. Godstjockleken, i förhållande till maximal temperatur, T_{\max} , ligger väldigt nära noll vilket egentligen tyder på att det inte råder något linjärt samband mellan dessa. Dock finns det ändå

någon form av beroende mellan de tre andra förklarande variablerna och den maximala ståltemperaturen, i konstruktionen. Trots detta genomförs analysen men med denna information som bakgrund.

Tabell 6.2. Korrelation mellan brandens parametrar och temperaturen.

	HRRPUA	D	z	GT
D	-0,29			
z	0,01	-0,13		
GT	0,00	0,00	0,00	
T _{max} i stålet	0,23	0,54	-0,70	0,00

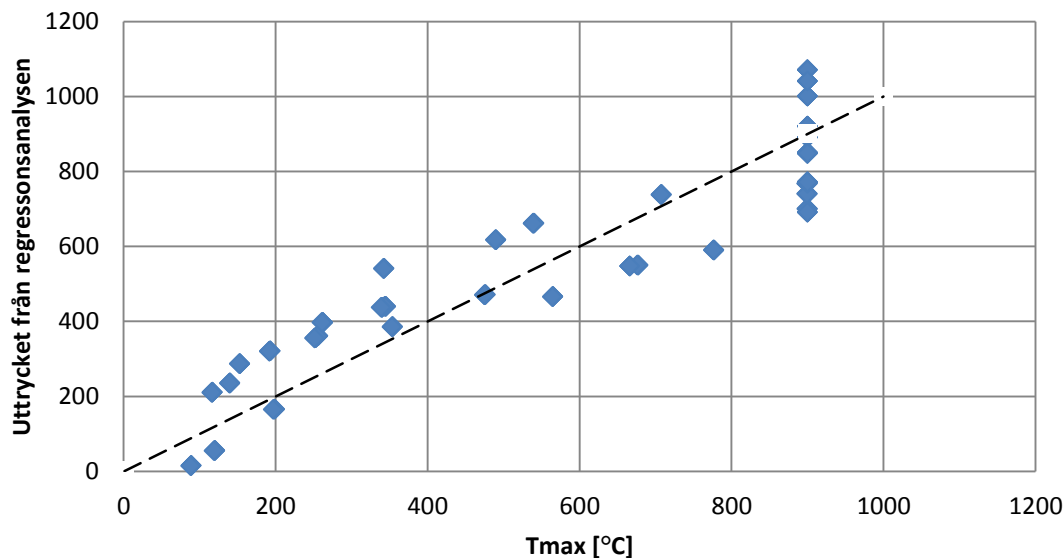
Undersökningsvariabeln är temperaturen inuti stålprofilen. Från den allmänna formeln: $y = k + a * x_1 + b * x_2 + \dots + n * x_n$ togs konstanterna framför respektive förklarande variabel fram med hjälp av Excel och presenteras i ekvation 6.3, se även Bilaga H, Indata regressionsanalys.

$$T_{max} = 409 + (110 * HRRPUA) + (150 * D) - (76 * z) - (0,2 * GT) \quad \text{Ekvation 6.3}$$

Det som kan utläsas från ekvation 6.3 är att diametern är den förklarande variabel som har störst påverkan på undersökningsvariabeln. Det som också kan utläsas är att godstjockleken inte påverkar alls lika mycket som övriga parametrar, vilket kan bero på att variationen i denna är ganska liten. Det som också kan utläsas från uttrycket ovan är att vid en ökad/positiv förändring av HRRPUA och D ökar temperaturen, vilket stämmer överrens med den fysikaliska verkligheten. När det gäller avståndet mellan flammans bas och konstruktionen samt godstjockleken innebär en minskning av dessa, en ökning av temperaturen vilket också stämmer logiskt överrens med den fysikaliska verkligheten.

Enligt regressionsanalysen blev p-värdet 0 för samtliga förklarande variabler utom för godstjockleken, varför resultatet från regressionsanalysen anses vara statistiskt signifikant. För parametern godstjocklek blev p-värdet 1,0 vilket innebär att detta inte är statistiskt signifikant. Detta kan bero på att när konstruktionen värms upp till den maximala temperaturen spelar inte godstjockleken längre någon roll. Ett större värde på godstjockleken innebär att det tar längre tid för denna att värmas upp, men den kan fortfarande bli lika varm som en konstruktion med mindre godstjocklek förutsatt att brandens varaktighet är tillräckligt lång. Den justerade determinationskoefficienten, R^2 , blev 0,85 vilket innebär att 85 procent av ändringarna i temperaturen kan förklaras av ändringar av de förklarande variablerna. Det är alltså 15 procent som inte kan förklaras av det uttryck som presenterats ovan, se ekvation 6.3.

För att undersöka detta närmare plottas uttrycket från regressionsanalysen mot de olika framtagna temperaturerna från TCD. Det som kan avläsas från figur 6.1 är att punkterna följer en rät linje ganska bra men det finns dock antydning till en negativ exponentiell lutning, varför en variabeltransformation genomförs för att se om sambandet mellan temperaturen i konstruktionen och de förklarande variablerna, HRRPUA, D, z och GT förklaras bättre genom ett exponentiellt uttryck. Anledningen till att de punkter som finns längst till höger i figuren är på en rät, vertikal linje beror av att den ekvationen som används i TCD endast är giltig upp till 900 °C.



Figur 6.1. De olika punkterna för undersökningsvariabeln T_{max} plottade mot uttrycket som getts av den linjära regressionsanalysen, $R^2=0,85$. Den streckade linjen är en perfekt linjär linje.

En linjär regressionsanalys med transformerade variabler genomförs på samma sätt som den linjära regressionsanalysen med skillnad att samtliga värden under respektive variabel skrivs om så att dessa kan användas exponentiellt, det vill säga varje variabel logaritmeras.

Den allmänna formen på det uttryck som ska tas fram är nu istället:

$$\ln(y) = k + a * \ln(x_1) + b * \ln(x_2) \dots + n * \ln(x_n)$$

och blir efter omskrivning genom att upphöja samtliga parametrar med basen e till

$$y = e^k * x_1^a * x_2^b * \dots * x_n^n$$

Resultatet från hela regressionsanalysen kan avläsas i Bilaga H, Indata regressionsanalys och uttrycket från regressionsanalysen kan avläsas i ekvation 6.4

$$\ln(T_{max}) = 7,0 + 0,6 * \ln(HRRPUA) + 0,8 * \ln(D) - (1,1 * \ln(z)) - (0,01 * GT) \quad \text{Ekvation 6.4}$$

Samtliga parametrar i uttrycket upphöjs med e som bas och det olinjära uttrycket för beroendet mellan den maximala temperaturen i konstruktionen och de förklarande variablerna skrivs enligt ekvation 6.5a.

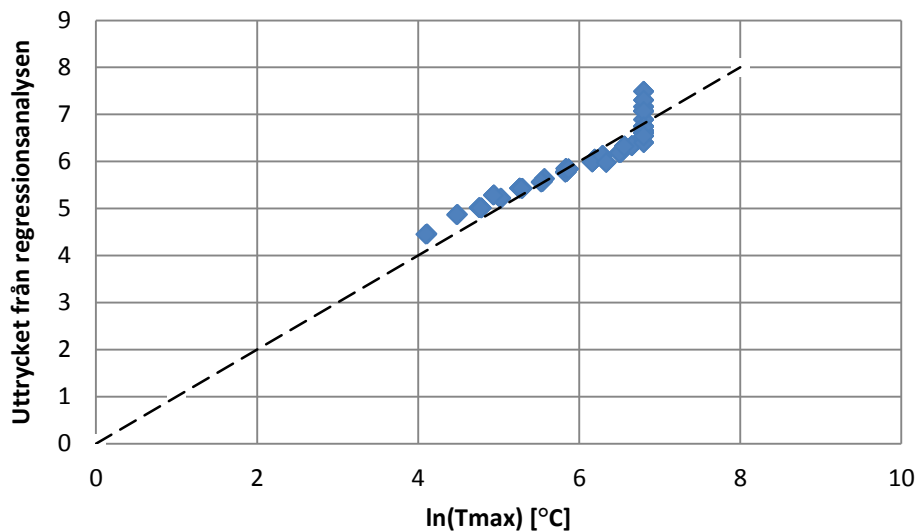
$$T_{max,1800s} = 1042 * HRRPUA^{0,6} * D^{0,8} * z^{-1,1} * GT^{-0,01} \quad \text{Ekvation 6.5a}$$

Det exponentiella uttrycket i ekvation 6.5a visar nu istället att det är avståndet mellan flammans bas och konstruktion som har störst påverkan på temperaturen inuti konstruktionen vid en förändring av denna. Dock ligger diameterns konstant väldigt nära konstanten för z så denna anses fortfarande vara en av de parametrar som påverkar temperaturen i konstruktionen mycket. Dessutom påverkar z den maximala ståltemperaturen mer än parametern HRRPUA jämfört med den linjära regressionsanalysen. Anledningen kan vara att de olika konstanterna

framför respektive variabel låg relativt nära varandra innan, vilket de fortfarande gör. Men eftersom det nya exponentiella uttrycket, se ekvation 6.5a och figur 6.2, representerar beroende mellan de olika variablerna och temperaturen inuti konstruktionen bättre anses detta uttryck vara mer korrekt. P-värdet för denna regressionsanalys blev också 0 för samtliga förklarande utom GT, med samma förklaring som tidigare. Eftersom parametern GT inte spelar någon roll för den maximala ståltemperaturen tas denna bort från det exponentiella uttrycket ovan och det nya uttrycket kan ses i ekvation 6.5b.

$$T_{max,1800s} = 1042 * HRRPUA^{0,6} * D^{0,8} * z^{-1,1} \quad \text{Ekvation 6.5b}$$

Den justerade determinationskoefficienten blev nu istället 0,89. I figur 6.2 kan sambandet mellan temperaturen, uträknad med hjälp av uttrycket, plottad mot temperaturen framtagen med TCD studeras. Den räta linjen (streckad) stämmer nästan exakt överens med punkterna från regressionsanalysen.



Figur 6.2. De olika punkterna för undersökningsvariabeln ln(T) plottade mot uttrycket som getts av regressionsanalysen, $R^2=0,89$. Den streckade linjen är en linjär linje.

Den nya plotten av simulerad temperatur i TCD mot uttrycket av temperaturen som ges i regressionsanalysen visas i figur 6.2, varför ovanstående ekvation 6.5a är det uttryck som beskriver sambandet mellan temperatur i konstruktionen med de förklarande variablerna; HRRPUA, D, z och GT bäst.

6.1.4 Slutsatser

Inom givna intervall så är det avståndet mellan konstruktion och flammans bas samt den valda diametern av branden som påverkar den maximala ståltemperaturen under brandförloppens varaktighet mest. Uttrycket representerade beroende mellan de förklarande variablerna samt undersökningsvariabeln när dessa fick uttryckas med exponenter varför sambandet ej följer en multipel linjär regressionsanalys utan snarare en multipel linjär regressionsanalys med transformerade parametrar. Uttrycket nedan är det uttryck som anses representera förhållandet mellan de olika parametrarna när den maximala temperaturen i stålet beräknas. I uttrycket

under presenteras det uttryck som togs fram i regressionsanalysen med ett brandförlopp med en kortare varaktighet, se även Bilaga K.

$$T_{max} = 1042 * HRRPUA^{0,6} * D^{0,8} * z^{-1,1} \quad \text{Ekvation 6.6}$$

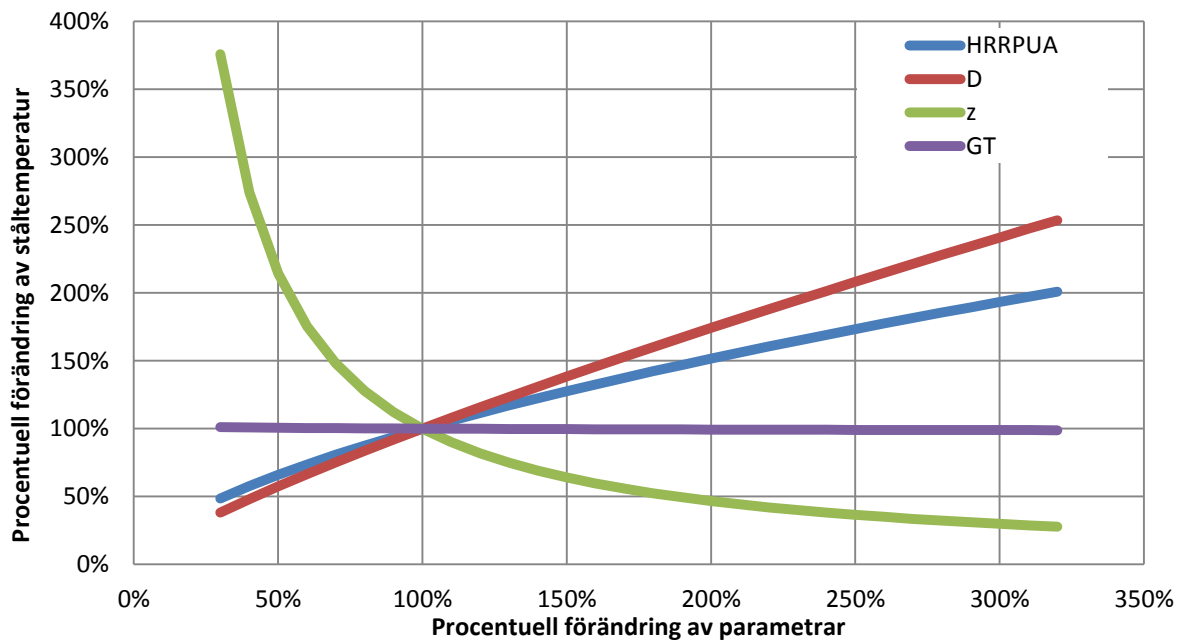
Från regressionsanalys nummer 2 i Bilaga K gavs nedanstående uttryck:

$$T_{max} = 1998 * HRRPUA^{0,82} * D^{1,3} * z^{-1,5} * GT^{-0,4} \quad \text{Ekvation 6.7}$$

Sammanfattningsvis konstateras det att när den lokala brandens parametrar ska bestämmas är det viktigt att välja en HRRPUA som ligger inom spannet för den verksamhet bärverket i lokalen ska dimensioneras efter. Avståndet mellan flammans bas och konstruktion samt brandens diameter är viktiga att beakta för att dimensionera ett bra brandskydd för lokalen. Hur diametern ska väljas blir en ingenjörsmässig bedömning från brandskyddsprojektören som ska anpassas efter värsta troliga scenario i lokalen. Här måste hänsyn tas till material, lagringskonfiguration, spridningsrisker och så vidare. Att påverka takhöjden kanske inte är lika lätt för en brandskyddsprojektör, beroende på vilket skede byggprocessen befinner sig i, däremot kan brandskyddsprojektören påverka lagringshöjder i lokalen då dessa kan medföra att en brand och därmed en flamma kommer närmare konstruktionen. Godstjockleken hos profilen har inte stor betydelse för den maximala temperaturen i konstruktionen, dock får den något större betydelse när varaktigheten hos brandförloppet kortas ner.

6.2 Känslighet i maximal ståltemperatur utifrån ekvation 6.5a

I detta avsnitt presenteras hur känslig den maximala ståltemperaturen är för en variation av respektive undersökt parameter. I kapitel 6.1 har det tagits fram ett uttryck, se ekvation 6.5a för hur respektive parameter påverkar stålets temperatur. Det kunde utifrån de exponenter för varje parameter avläsas att det var parametern z som påverkade ståltemperaturen mest vid en variation, dock inte hur mycket. För att få en bättre uppfattning presenteras den procentuella förändringen av en parameter mot hur mycket samma parameter procentuellt förändrar ståltemperaturen i figur 6.3. Samtliga ingående parametrar varierar mellan 30 och 320 procent.



Figur 6.3 Procentuell förändring av parameter i förhållande till procentuell förändring av ståltemperatur.

Det kan tydligt avläsas från figur 6.3 att en variation av parametern z innebär stora ändringar för den maximala ståltemperaturen. En variation av z innebär en variation av stålets T_{max} mellan 20 till 540 procent, se tabell 6.3. Variation av HRRPUA samt D innebär även dessa en stor variation av ståltemperaturen, där ståltemperaturen är mest känslig för diametern vid en förändring, se tabell 6.3. Som tidigare nämnts har godstjockleken inte särskilt stor betydelse för den maximala temperaturen inuti stålet jämfört med övriga parametrar.

Tabell 6.3 Variation av den maximala temperaturen i stålet när övriga parametrar varierar.

Parameter	Skillnad i procentuell ändring av ståltemperatur	Intervall [%]
HRRPUA	152	49 - 201
D	216	38 - 254
z	348	376-28
GT	2	101 - 99

Slutsatsen är att det är extra viktigt att vara noggrann när z ska bestämmas under dimensioneringsprocessen. Men att diametern och även HRRPUA ger en stor variation av stålets temperatur om dessa parametrar varierar. Det som är viktigt att poängtera är att denna modell är framtagen med hjälp av en annan modell, TCD vilket innebär ytterligare osäkerheter, se bilaga C.

6.3 Parametrars samverkande påverkan på ståltemperaturen

I detta avsnitt analyseras hur kombinationer av parametrarna påverkar ståltemperaturen.

6.3.1 Simulering 3 - z-värde

Simulering 3 utförs med ytterligare två effektutvecklingar, utöver den på 5 megawatt, en lägre på 2 megawatt och en högre på 10 megawatt. Detta för att se hur kombinationen av en variation av z och effektutveckling påverkar ståltemperaturen. Precis som för 5 megawatt blir temperaturskillnaden störst vid en variation av z när ståltemperaturen ligger mellan cirka 400 °C och 700 °C. Det som skiljer sig är att detta sker vid olika z-värden. För lägre

effektutvecklingar blir temperaturskillnaden större för lägre z-värden, runt 1 meter se tabell G.1 i Bilaga G. För högre effektutvecklingar är temperaturskillnaden större för större z-värden runt 4,5-5 meter se tabell G.2 i Bilaga G. Detta innebär att beroende på effektutveckling är valet av z-värdet känsligare nära eller lite längre ifrån konstruktionen och temperaturskillnaden mellan olika z-värden i det känsliga området kan vara upp till 160 °C. Varför temperaturen är känsligare för en förändring av z i just detta område, det vill säga mellan 400 °C och 700 °C, kan bero på att den kritiska ståltemperaturen ligger inom just detta område. Tydligt är också att en högre effektutveckling ger en högre temperatur i stålprofilen för samma z-värde se figur G.1 och G.2 i Bilaga G.

6.3.2 Simulering 7 - Godstjocklek

Simulering 7 utförs även med en rad olika kombinationer av effektutveckling, z, samt godstjocklek se tabell G.3 i Bilaga G. En ökad godstjocklek har enligt de simuleringar som gjorts större betydelse för lägre effektutvecklingar ≤ 5 megawatt, det vill säga temperaturskillnaden för dessa blir större. En ökning av godstjockleken med 1 millimeter ger en temperaturskillnad i stålprofilen mellan cirka 20-80 grader beroende på brandens utseende och på vilket avstånd den befinner sig från stålprofilen, se tabell G.3. För högre effektutvecklingar och lägre z-värden har godstjockleken mindre betydelse medan den för låg effektutveckling och lägre z-värden får större betydelse.

För att få en bättre förståelse för hur konstruktionen påverkas av godstjockleken med olika effektutvecklingar och z-värden genomfördes även en mekanisk analys av den brandutsatta stålprofilen med hjälp av TCD. Den relativa bärförmågan över tiden i brandtillståndet bestäms av relativ tryck- och draghållfasthet samt relativ E-modul hos stålet, se även avsnitt 3.4 om mekanisk analys.

Den kritiska bärförmågan ökar med ökad godstjocklek, se tabell G.4 i Bilaga G. De simuleringar med olika godstjocklek som utförts visar att skillnaden i kritisk bärförmåga minskar med ökad effektutveckling. Det vill säga ökad godstjocklek påverkar kritisk bärförmåga i större grad för de lägre effektutvecklingarna. Lägre effektutveckling medför generellt en större kritisk bärförmåga precis som längre avstånd mellan flammans bas och stålprofilen också ökar den kritiska bärförmågan. Generellt gäller också att det är en större skillnad på den kritiska bärförmågan mellan fem och sex millimeters godstjocklek än mellan fyra och fem millimeter.

För simuleringsnummer 7.11, 3.1_z1 samt 7.12, se tabell G.4 i Bilaga G, blir den kritiska bärförmågan betydligt högre än övriga, detta eftersom effektutvecklingen är relativt låg i förhållande till diameters storlek, vilket medför ett lägre HRRPUA.

Även om skillnaden i maxtemperatur är större för de lägre effektutvecklingarna så är det tydligt enligt figur G.3 och G.4 i Bilaga G att skillnaden i temperatur över tid blir större mellan de olika godstjocklekarna om effektutvecklingen ökar. Detta påverkar profilens temperatur-tidfält. Det vill säga om hänsyn tas till hela temperatur-tidförloppet blir temperaturskillnaden mellan godstjocklekarna större då effektutvecklingen ökar. Undersökningen av kritisk bärförmåga visar att ökad godstjocklek medför en högre kritisk bärförmåga. Det går också att se att skillnaden i kritisk bärförmåga minskar med ökad

effektutveckling. Det vill säga ökad godstjocklek påverkar kritisk bärförmåga positivt i större grad för de lägre effektutvecklingarna. Skillnaden i kritisk bärförmåga ligger runt några procentenheter för de högre effektutvecklingarna upp till 20 procentenheter för de lägre.

6.3.3 Simulering 8 – F/A-värde

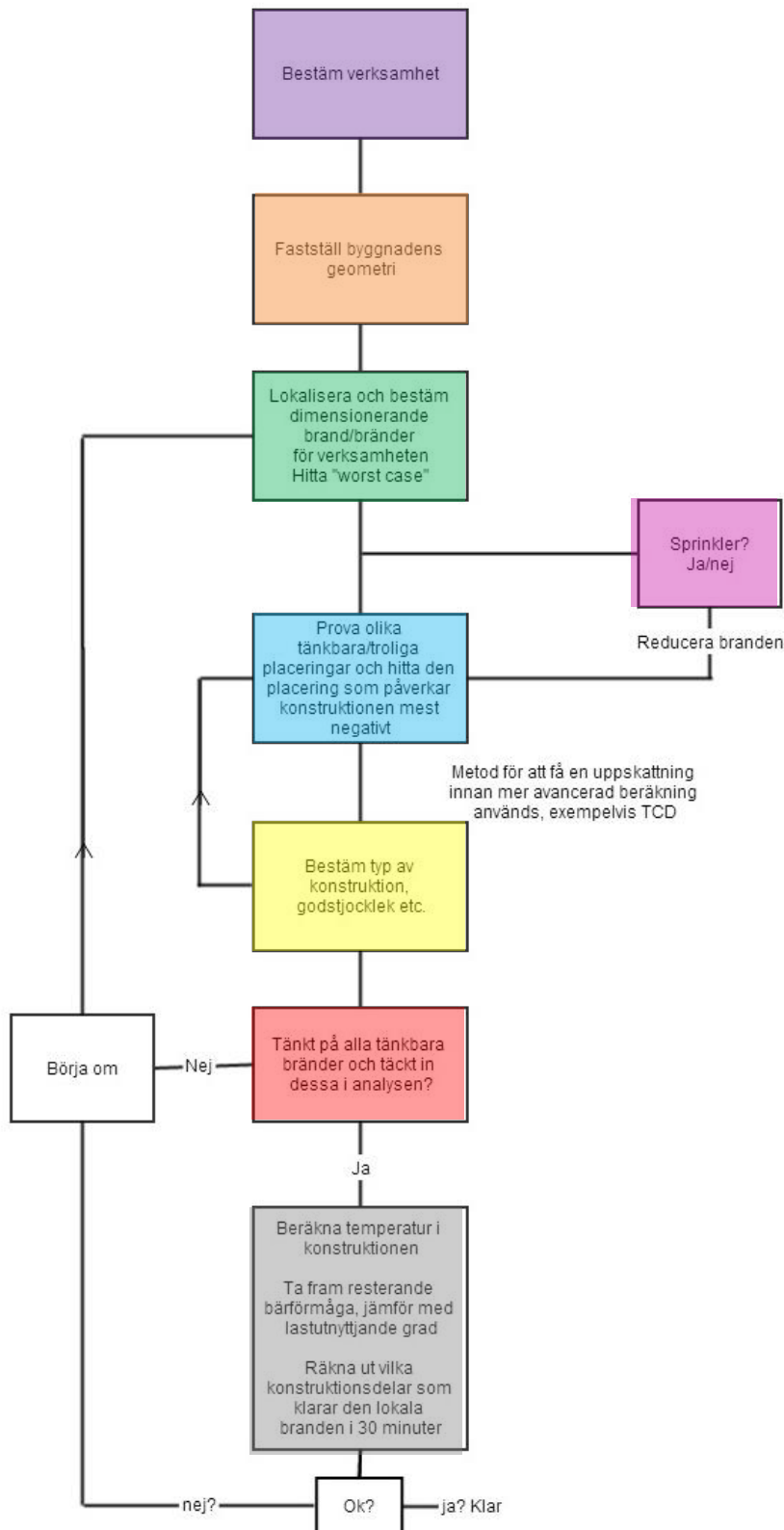
Den maximala effektutvecklingen blir högre för UPE- och IPE-profilerna för effektutvecklingar på 2 och 5 megawatt. Ju högre effektutveckling desto lättare kan skillnad urskiljas mellan UPE och IPE men främst mellan HEA och VKR, se figur G.5 i Bilaga G. En högre effektutveckling medför också att samtliga stålprofiler får en högre temperatur i stålet under en längre tidsperiod.

För simulering 8 genomförs en mekanisk analys av den brandutsatta konstruktionsdelen för att kunna jämföra den relativa bärförmågan över tiden samt kritisk bärförmåga hos olika profiler. Minsta tillåtna övre sträckgräns sattes även här till 355 megapascal och knäcklängden till 1 meter. Beräkningarna i TCD visar att profilerna UPE och IPE ger ungefär samma kritiska bärförmåga vid samma tid för respektive simulering, skillnaden är större mellan simuleringarna med lägre effektutveckling. Profilerna HEA och VKR ger också ungefär samma kritiska bärförmåga vid samma tid för respektive simulering, skillnaden är även för dessa större mellan simuleringarna med lägre effektutveckling se tabell G.5, Bilaga G. Detta innebär att även valet av profil får större betydelse för lägre effektutvecklingar.

Skillnaden i temperatur över tid blir något större mellan de olika profiltyperna om effektutvecklingen ökar jämför figur 5.10 och figur G.5, Bilaga G. Detta påverkar profilens temperatur-tidfält. Det vill säga om hänsyn tas till hela temperatur-tidförloppet blir temperaturskillnaden mellan profiltyperna större då effektutvecklingen ökar.

7. Resultat/metod för att använda lokal brand

I figur 7.1 presenteras flödesschemat för hur författarna tycker att den lokala branden ska bestämmas. Detta avsnitt är ett led i att besvara examensarbetets mål samt frågeställning nummer 5.



Figur 7.1. Flödesschema lokal brand.

7.1 Bestäm verksamhet

Det första steget är att välja/ta reda på vilken verksamhet som skall bedrivas i hallbyggnaden samt vilken/vilka typer av verksamhetsutövare som är aktuella. Anledningen till att detta steg är viktigt att bestämma är för att kunna göra hallbyggnadens brandskydd så bra som möjligt för aktuell verksamhet samt de personer som ska vistas där. Olika exempel på verksamheter kan vara:

- Ishall – Låg brandbelastning, bärverkets brandskydd kan anpassas efter respektive del i hallen. Det vill säga placering av till exempel läktare, restaurang och isdel kan avgöra brandskyddet på olika bärverksdelar. I beaktande bör konsulten ha om det skall anordnas andra event i lokalen som innebär en högre brandbelastning.
- Bilhall – Relativt precis brandbelastning vilket medför ett enklare val av den effektutvecklingskurva som bör beaktas. Placering bör vara i de flesta fall vara i golvnivå då det kan antas rimligt att bilar är placerade här dock med reservation för specifika fall.
- Köpcentrum – Lagring av många olika typer av material på varierande höjder. Placering av branden ska göras på flera höjdnivåer. Det värsta material som kan tänkas finnas i ett köpcentrum bör representera den lokala branden i alla delar av hallbyggnaden. Takhöjd och tillåten lagringshöjd måste anpassas efter varandra.
- Matbutik – Fastställande av dimensionerande brand borde gå relativt lätt, då varje matbutik har i stort sett samma typ av brandbelastning. Dock bör det analyseras vilket eller vilka av materialen som ger värst påfrestning för byggnaden. Placering av branden skall kontrolleras på olika höjder, takhöjd och lagringsnivå måste anpassas efter varandra.
- Lager – Kan vara specifikt om byggherren väljer att specificera lagerverksamheten. Här bör särskild hänsyn tas till en eventuell entresol samt lagringskonfiguration med placering och höjd på ställage. Tak- och lagringshöjd ska anpassas efter varandra.
- Industri – Samma som lagerverksamhet.

7.2 Fastställ byggnadens geometri

Byggnadsgeometri skall fastställas. Takhöjd, area samt eventuell entresol och lagringskonfiguration.

7.3 Lokalisera och bestäm dimensionerande brand/bränder

Brandens egenskaper bestäms utifrån den verksamhet hallbyggnaden ska vara avsedd för. Parametrar som HRRPUA, diameter, tillväxthastighet, avstånd till bärverk skall beaktas. Enligt regressionsanalysen påverkar framför allt val av diameter och avstånd mellan flammans bas och konstruktion, brandförloppets påverkan på konstruktionen, dock borde val av övriga parametrar, som HRRPUA väljas så konservativt som möjligt under de förutsättningar som råder i byggnaden.

7.4 Tekniska system

Kommer det att finnas några tekniska system i lokalen? Hitta värsta troliga placering av branden i förhållande till dessa och reducera branden efter den effekt systemet har på branden. Detta för att hallbyggnaden ska kunna klara av alla tänkbara brandförlopp i lokalen.

7.5 Brandens placering

Testa olika placeringar av branden i förhållande till de tekniska systemen samt konstruktionen för att hitta det ställe som innebär värsta fallet för respektive konstruktionsdel. Det vill säga värsta troliga placering i förhållande till pelare, fackverk/takbalkar och sprinklerhuvud. När de olika brandförloppen samt placeringar är bestämda kan en enkel ingenjörsbedömning göras med det uttryck som tagits fram i avsnitt 6.1, ekvation 6.5b. Detta för att få en snabb översikt av den ungefärliga ståltemperaturen beroende på takhöjd, lagringskonfiguration och material samt om sprinkler eller liknande krävs. Dock behövs en validering göras av en extern granskare innan ekvation 6.5b börjar användas av andra användare än författarna i denna rapport. Dessutom är ekvationen endast användbar inom ett visst giltighetsspann, se tabell 6.1.

7.6 Bestäm konstruktionstyp

Bestäm vilken konstruktionstyp det är i lokalen/ ta reda på vilken konstruktionstyp. Laborera med profiltyp och godstjocklek för att få fram en bra konstruktion för den lokala brand som är vald att representera verksamheten i hallbyggnaden. Det senare är endast möjligt om brandkonsulten kommer in i byggskedet tidigt samt att det behövs en god dialog och diskussion med konstruktören. Regressionsanalysen visar att val av godstjockleken inte är av lika stor betydelse i förhållande till val av brandens parametrar. Men däremot kan en skillnad på två millimeter i godstjocklek ändå ge en temperaturskillnad på 160 grader.

7.7 Är den dimensionerande branden funnen?

Gå igenom analysen, har den värsta troliga branden i förhållande till vilken/vilka verksamheter lokalen skall vara dimensionerad för beaktats? Likaså gäller placering av branden.

7.8 Beräkna kritisk bärförmåga

Beräkna kritisk bärförmåga för respektive konstruktionsdel och jämför denna med utnyttjandegrad i brandlastfallet. Utvärdera om och i så fall var brandskyddet behöver åtgärdas. Gör nya beräkningar, beroende på typ av skyddsåtgärd, för att se om eventuella åtgärder är tillräckliga. Detta görs med en mer avancerad modell, exempelvis simuleringsprogrammet TCD.

8. Tillämpning av flödesschemat på en Br2-hallbyggnad

I detta kapitel kommer brandskyddet för bärverket i en Br2-hallbyggnad i stål dimensioneras efter dimensioneringsmetoden lokal brand i EKS 9. Detta genomförs för att analysera huruvida de slutsatser författarna kommit fram till genom intervjuer, simuleringar och andra undersökningar har bidragit med klarhet i hur dimensioneringsmetoden borde användas. Under dimensioneringsgången används flödesschemat som presenterats i kapitel 7 och återkopplingar till detta kommer att göras under processen.

8.1 Exempelbyggnad X

X är ett stort köpcentrum som ligger i Sverige. Information om lokalen såsom storlek och typ av profiler på pelare och fackverk har tillhandahållits av *Fire Safety Design* och *NCC Teknik*. Det är för en av lokalerna, kallat hus A, som en analys och dimensionering av brandskyddet hos bärverket skall genomföras. I tabell 8.1 nedan presenteras information om hallbyggnaden.

Tabell 8.1. Information om hallbyggnaden.

Information	
Typ av verksamhet	Köpcentrum
Area, BTA*	11 000 m ²
Area respektive lokal	4400 m ² respektive 4300 m ²
Tekniska system	Automatisk vattensprinkleranläggning Automatiskt brandlarm Brandgasluckor
Takhöjd försäljningsyta	7,5 meter till fackverksbalk 9,5 total takhöjd
Material yttertak	TRP** inklusive isolering med duk
Entresol (betongbjälklag)	Ja
Verksamhet entresol	Kontor
Ställage	Ja Höjd: ej fastställd.
Lastutnyttjandegrad i brandlastfallet	Fackverk, över- och underram: <52 % Diagonal (fackverk): <70 % Mittpelare <37%
Avstånd mellan under- och överram i fackverksbalken	1,7 meter

* BTA=bruttoarea=alla våningsplans area som begränsas av de omslutande byggnadsdelarnas utsida.

** TRP= trapetsplåt

För att få lov att dimensionera med lokal brand ska konsulten ha visat att sannolikheten för övertändning i lokalen understiger 0,5 procent, detta antas redan vara visat. Eftersom brandbelastningen kommer att vara relativt hög i lokalerna har sannolikheten för övertändning visats med hjälp av sprinkler och brandgasluckor.

8.2 Analys

I analysen kommer respektive steg i flödesschemat, se figur 7.1, presenteras steg för steg.

8.2.1 Steg 1 - Bestäm och analysera verksamheten

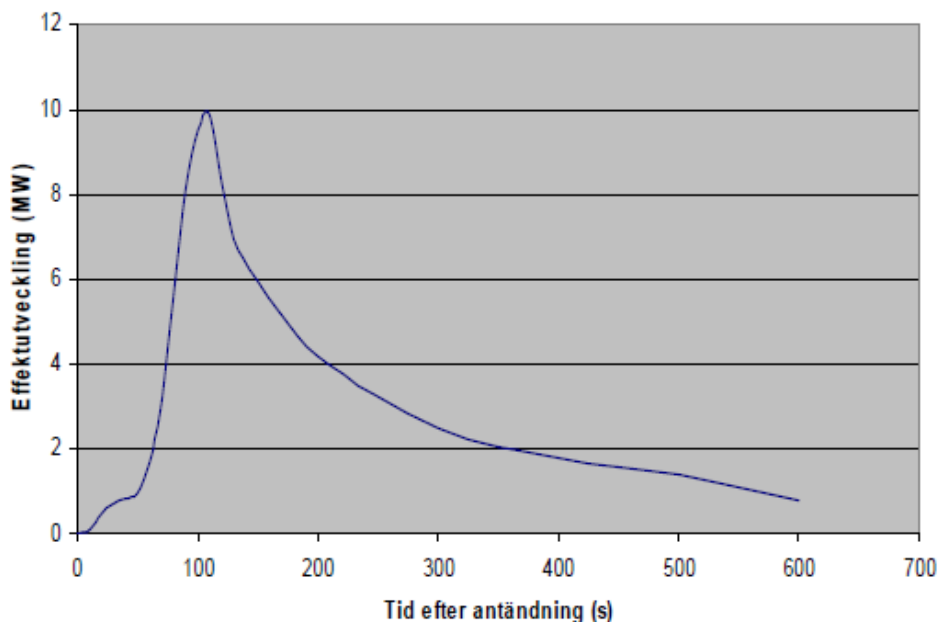
Det första steget är att ta reda på vilken verksamhet som skall bedrivas i hallbyggnaden samt vilken/vilka typer av verksamhetsutövare som är aktuella. X är som tidigare nämnt ett köpcenterområde och tanken är att dimensionera dessa lokaler efter material och

lagringshöjder som kan tänkas inhysas i ett sådant område. Författarna väljer att begränsa dimensioneringen till att innefatta köpcentra men det är ännu oklart vilken butik som kan tänkas bedriva sin verksamhet i hus A. Beställaren av den brandtekniska utredningen önskar en generell dimensionering efter de butiker som brukar finnas på köpcenterområden. Några av de butiker som kan tänkas finnas i exempelbyggnaden presenteras nedan, fler exempel presenteras i Bilaga J:

- Klädesaffärer, ridsportaffärer
- Bilhall
- Detaljhandel

Klädesaffärer

I klädesbutiker och liknande kan alla typer av lagringshöjder vara aktuellt. Nedan presenteras olika effektutvecklingskurvor från tidigare undersökningar (Johansson, 2004).



Figur 8.1. Effektutveckling efter simulerad garderobsbrand med 300 jackor (Johansson, 2004).

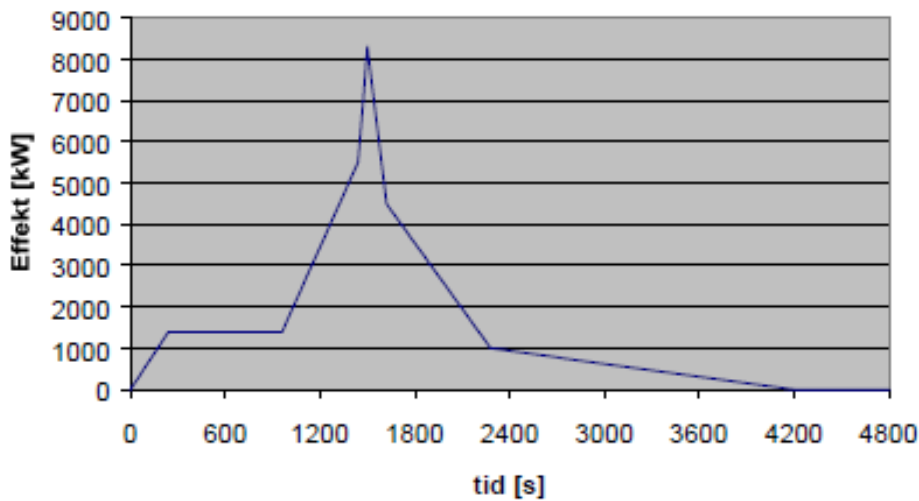
Det som kan utläsas från figur 8.1 är att tillväxthastigheten hos kläder, jackor i detta fall, är väldigt snabb, nästan 1 kW/s^2 vilket är ett högre värde än en *ultrafast* brand.

Det som inte gör denna effektutvecklingskurva exakt jämförbar är att försöket har genomförts i en container vilket ökar återstrålningen och detta ger en högre massavbrinning och ett varmare klimat (Johansson, 2004). I en klädesbutik antas mer luftinblandning och mycket mindre återstrålning från varma brandgaser på grund av den större ytan.

Markus Abrahamsson skriver i sin rapport att kläder av blandat material, 5 klädställ med en volym av $1,3 \cdot 0,6 \cdot 1,0$, kommer upp i en maxeffekt av 6 megawatt och ligger mellan *Fast* och *medium* tillväxt (Abrahamsson, 1997).

Bilhall

I figur 8.2 presenteras en effektutvecklingskurva för en bilbrand, den kommer upp i en maximaleffektutveckling av 8 megawatt (Hellgren & Hällstorp, 1999).



Figur 8.2. En brinnande bils effektutvecklingskurva (Hellgren & Hällstorp, 1999).

Från en annan källa hittas att en bilbrand utvecklar cirka 2-4 megawatt (Henriksson, 2008).

Detaljhandelsföretag

Ovanstående butiker kan innehålla de flesta material. I tabell 8.2 presenteras några av de material som kan finnas i lokalerna.

Tabell 8.2. Effektutvecklingar för olika material (NFPA, 1995) (Abrahamsson, 1997) (Staffansson, 2010) (Karlsson & Quintiere, 2000).

Material	Maxeffekt (kW/m ²)	Tillväxthastighet
Tändvätska	400	UF
Motorolja	1000	UF
Lacknafta	2220	UF
Lagring av träpallar	5520 (höjd 1,5 meter)	F
	10670 (höjd 3 meter)	F
Plasttallrikar	5400-8200 (höjd 4,3 meter)	F
	440-9600 (höjd 4,6 meter)	F/UF
Hårdplast	8510 (höjd 1,5 meter)	F
PVC flaskor	3400 (höjd 4,3 meter)	F
Skobutik:		
Läder	1500 kW (8,8 kilogram)	M,F
Möbel/sängaffär.		
Madrass med PVC	400	M
Fåtölj/soffa	2000-4000	F
Teknikaffär:		
TV	300-600	M
Kablar/plast PVC	Se ovan	
Systembolag:		
Etanol	400	UF

8.2.2 Steg 2 – Fastställ byggnadsgeometri

Med hjälp av steg två ska utseendet i lokalen bestämmas. Viktigt att tänka på är hur takhöjden ser ut och om det finns delar av lokalen som är mer utsatta vid en brand jämfört med andra. I detta fall är ställagehöjden inte fastställd. I lokalen finns ett entresolplan, se ritning i Bilaga J. Takhöjden vid entresolplanet är fyra meter. Övrig information om lokalen hittas i tabell 8.2.

8.2.3 Steg 3 - Brandens egenskaper

Eftersom det är ett köpcentrum blir variationen av material i lokalen stor. I steg 1 har olika HRRPUA tagits fram för olika material. För att ta fram en rimlig lokal brand kan det avläsas från tabellerna samt figurerna ovan att HRRPUA varierar mellan 0,4-8 MW/m². Lagring av lastpallar har förvisso en högre effektutveckling men det är inte stor sannolikhet att så stor mängd lastpallar kommer att lagras i hela lokalen, varför det får hanteras separat om en sådan lagring skulle vara aktuell. Nästa steg är att bestämma diametern, egentligen arean, av respektive material. Från simuleringar och regressionsanalyser är diametern en viktig parameter för slutresultatet. Diametern varierar mellan 1-3 meter beroende av var i lokalen branden placeras. Sett till hur lagringskonfigurationen i sådana butiker ser ut brukar det finnas gångstråk och material är lagrat i ”öar”. Dessa ”öar” kan ha olika höjd men anses inte vara bredare än 3 meter. Givetvis kan branden spridas beroende på avståndet mellan de olika öarna men eftersom det är visat att övertändning inte sker så brinner inte allt detta samtidigt med samma höga effektutveckling.

8.2.4 Steg 4 – Tekniska system

I lokalerna finns idag ett sprinklersystem och brandgasluckor. Det har visats bland annat med hjälp av sprinklersystemet att beräkningar med lokal brand kan genomföras. Simuleringarna i TCD utförs först utan reducering av branden på grund av sprinklersystemet, mest på grund av att författarna inte undersökt hur en sprinklerreducering av branden kan se ut. Det som ska tilläggas är att lokalen är utförd med sprinkler och enligt paragraf 10 i EKS 9 får en reducering av branden på grund av sprinklersystemet göras, men det är inte undersökt hur.

8.2.5 Steg 5 – Hitta brandens värsta placering

I analysen testas olika avstånd mellan fackverksbalk och lokal brand, detta för att ta reda på möjlig lagringshöjd/ställagehöjd. Höjden till entresolen är 3,5 meter. Höjden från entresolplan till fackverksbalk är 4 meter så detta z-värde kommer att testas i simuleringarna. Höjderna som kommer att testas är 7,5 meter, 4 meter, 3,5 meter och 1 meter, med andra ord en brand på golvet, en på halva höjden samt en nära fackverksbalken. En brand så nära fackverksbalken ansätts lite mindre för att inte resultatet ska bli orimligt. Det är troligt att mängden material som lagras högre upp är mindre än längre ner samt att en brand så högt upp är mindre än en brand längre ner sett till spridningsmöjlighet. Det är viktigt att förutsättningar som dessa anges i den brandtekniska utredningen och att den som ska bruka lokalen känner till var, hur och vad som är tillåtet att lagra.

Nedanstående brandförlopp, beskrivna i tabell 8.3, kommer att testas mot respektive stålprofil i TCD.

Tabell 8.3. De olika brandförloppen som skall testas, den maximala temperaturen i konstruktionen, T_{max} , uträknat med ekvation 6.5b samt temperaturen en konstruktion tål vid en viss temperatur.

Brandförlopp	H/z [m]	HRRPUA [MW/m ²]	D [m]	Q [MW]	T _{max} [°C]	MaxT		
						Lastutnyttjandegrad [%]		
						70	52	37
1	7,5	8	1,5	14	576	526	578	630
2	7,5	2	3	14	436	526	578	630
3	4	1,6	2	5,0	551	526	578	630
4	3,5	3	1	2,4	535	526	578	630
5	1	2	1	1,6	1663	526	578	630

Brandförlopp 1: Här testas klädställ på grund av att detta är ett av de material som innebär en hög effektutveckling. Diametern sätts till 1,5 meter med stöd från Abrahamsson, (1997). Den absolut värsta totala effektutvecklingen blir 8x3 megawatt om den högsta HRRPUA och den största diametern används. Då blir den maximala effektutvecklingen 56 megawatt. Författarna anser att 56 megawatt är en väldigt hög effektutveckling, vilket inte är ett troligt värde för en lokal brand eftersom en sådan stor brand hade gjort att näst intill hela byggnaden kollapsade.

Sannolikheten att det börjar brinna på golvnivå är stor, varför en större brand testas här. En brand på 14 megawatt är stor och sannolikheten för spridning ökar. Dock ska det tilläggas att om branden sprids kommer inte samma stålprofil att påverkas av spridningen. Därför testas alla konstruktionsdelar mot samma brandförlopp.

Brandförlopp 2: Ytterligare ett brandförlopp på golvet testas. En soffbrand, denna innebär en större area men ett lägre HRRPUA jämfört med klädbranden, se tabell 8.3. Detta görs också för att kunna jämföra resultat där effektutvecklingen är densamma men där effektutveckling per kvadratmeter samt diametern, som enligt tidigare simuleringar är en viktig parameter varierar.

Brandförlopp 3: Brand på golv i entresol. På entresolen är det känt att det ska pågå kontorsverksamhet. Möbler brinner med en HRRPUA 1,6 MW/m² (Karlsson & Quintiere, 2000) och med en diameter på 2,0 meter då blir den totala effektutvecklingen 5,0 megawatt, vilket även kan understödjas av tabell 5 i BBRAD (Boverket (3), 2013).

Brandförlopp 4: Detta genomförs för att testa en brand som uppkommer på grund av lagring av något material på 4 meters höjd från golvet. Det är inte lika stor spridningsrisk på denna höjd eftersom ställagen är utplacerade med mellanrum, en HRRPUA väljs till 3 MW/m² där ställagebredd är cirka 1 meter. Sannolikheten att branden blir större här är lägre än på golvnivå eftersom ett brandförlopp sprids uppåt snabbare än nedåt och detta kompenseras med en lägre effektutveckling.

Brandförlopp 5: Genomförs som en typ av känslighetsanalys där en mindre brand testas högre upp. Det bedöms att det i dessa lokaler lagras mindre material högre upp, dessutom är det troligt att branden i ett inledande skede är mindre än om den skulle startat längre ner då en spridning uppåt sker lättare och snabbare rent fysikaliskt. Det vill säga mer material kan brinna snabbare vid en antändning längre ner än på toppen av ett ställage. Här testas en brand på 2 MW/m² med samma diameter som tidigare det vill säga 1 meter med tanke på ställagets ungefärliga bredd.

Respektive brandförlopp beräknas med ekvation 6.5b för att få en uppfattning om vilket temperatur de olika brandförloppen påverkar stålkonstruktionen med. Temperaturerna i förhållande till temperatur som en stålkonstruktion tål vid en viss lastutnyttjandegrad (Swedish standards institute (2), 2005) kan ses i tabell 8.3, varje konstruktionsdels lastutnyttjandegrad kan avläsas i tabell 8.1. Ekvation 6.5b presenteras nedan:

$$T_{max} = 1097 * HRRPUA^{0,6} * D^{0,8} * z^{-1,1}$$

Det som kan avläsas från tabell 8.3 är att temperaturen från samtliga brandförlopp ligger i kritiska temperaturområden för stålkonstruktionen. Det kan också observeras att brandförlopp 2 kommer att ha minst påverkan på konstruktionen och att det är diagonalerna i fackverksbalken som inte kommer att klara temperaturökningen för detta brandförlopp. I brandförlopp 5 blir den framräknade temperaturen 1663 °C, vilket är en orimlig temperatur. Det ska observeras att varken brandförlopp 1 eller 5 ligger inom giltighetsspannet för den framtagna ekvationen och detta är en av anledningarna till att temperaturen blir mycket högre. Den andra anledningen till detta är antagligen att den ekvation som används i TCD endast är giltig upp till 900 °C och då blir extremfallen, där flammen är så nära konstruktionen att temperaturen egentligen skulle överstigit 900 °C, reducerat. Vilket innebär att vid små z-värden blir inte den framräknade ståltemperaturen helt korrekt när uttrycket 6.5b används.

Då brandförloppen bestämts har författarna försökt vara konservativa i sina antaganden genom att analysera och välja värsta troliga (sannolika) fall med avseende på de olika parametrarna. Detta medför osäkerheter och analyserna resulterar i ett intervall av utfall, i detta fall olika brandförlopp, uppskattade med konservativa antaganden. Detta medför att osäkerheterna blir svåra att analysera då faktumet kvarstår att delar av det resulterande intervallet av olika brandförlopp är högst osannolika samtidigt som det finns brandförlopp utanför det resulterande intervallet som är fullt möjliga. Paté-Cornell (1999) beskriver också denna problematik i sin artikel om osäkerhetsanalyser samt konsekvenser av beslutsfattande.

8.2.6 Steg 6 – Vilken/vilka konstruktionstyper finns i hallbyggnaden

De profiler stålkonstruktionen är uppbyggd av presenteras nedan:

- Primär fackverksbalk: Typ: VKR-profil
 - Dimensioner diagonaler:
 - 90x90x5 längd/knäcklängd: 2104 mm
 - 90x90x5 längd/knäcklängd: 2094 mm
 - Underbalk:
 - 120x120x6 längd: 9176 mm
 - Överbalk:
 - 160x160x8 längd: 11738 mm
- Sekundär fackverksbalk: Typ: VKR-profil
 - Dimensioner diagonaler:
 - 70x70x4 längd/knäcklängd: 2220 mm
 - 50x50x4 längd/knäcklängd: 1570 mm
 - 80x80x5 längd/knäcklängd: 2252 mm

- Underbalk:
120x120x5 längd:8111 mm
- Överbalk:
120x120x6 längd: 9881 mm
- Mittpelare: Typ: VKR-profil
 - Dimensioner:
250x250x8 längd: 8550 mm, knäcklängd: 5985mm

8.2.7 Steg 7 – Simulering och beräkning av kritisk bärförmåga

I detta steg används skript som byggs upp efter brandförloppen som presenteras i tabell 8.3 för att kunna simulera respektive brandförlopp mot respektive stålprofil i programmet TCD.

Första steget är att simulera respektive brandförlopp utan sprinklerreducering och ta fram kritisk bärförmåga för varje profil, se Bilaga F. Den kritiska bärförmågan jämförs i sin tur mot lastutnyttjandegraden i brandlastfallet, är den kritiska bärförmågan större än lastutnyttjandegraden kommer stålprofilen att klara av brandförloppet, om inte, måste någon form av åtgärd genomföras.

De punkter i tabell F.2 i Bilaga F i *kursiv* stil är de som klarade brandförloppen utan att få lägre kritisk bärförmåga än lastutnyttjandegrad i brandlastfallet. Överramen klarar alla brandförlopp, utom brandförlopp 5, vilket beror på att avståndet mellan överram och brandförlopp är större.

Hela primärfackverksbalken klarar brandförlopp 2, vilket sekundärbalken också gör bortsett från en av diagonalerna.

Resultatet från dessa simuleringar visar att någon typ av åtgärd måste göras för pelare och samtliga fackverksbalkar avseende bärförmågan att stå emot det värsta brandförloppet för att upprätthålla de krav som ställs från EKS 9, det vill säga motsvarande brandteknisk klass R30.

8.2.8 Tekniska system - sprinkler

Författarna har i detta steg inte tagit hänsyn till att det finns sprinkler i lokalen. Sprinklern kommer, när den löser ut, reducera respektive brandförlopp jämfört med en fritt brinnande lokal brand. En närmare analys av hur sprinklern får lov att reducera den lokala branden och hur hänsyn till felfunktion skall tas har ej gjorts i detta examensarbete. Huruvida denna sprinklerreducering får lov att användas finns det olika syn på och detta måste specificeras närmare, se diskussion i kapitel 9.

Eftersom författarna inte har undersökt sprinklerns funktion är ett alternativ att använda sprinklerreducering så som den görs i BBRAD för utrymningsdimensionering (Boverket (3), 2013). Enligt BBRAD sker sprinklerreducering enligt två alternativ. För alternativ 1 ska en reduktion av brandförloppet, vid utrymningsdimensionering för en effektutveckling under 5 megawatt vid sprinkleraktivering, till en tredjedel av den effekt som gäller vid aktivering under en minut och sedan fortsätta konstant tiden ut.

Alternativ 2, för en brand större än 5 megawatt vid sprinkleraktivering, ska effektutvecklingen hållas konstant efter sprinkleraktivering.

Respektive brandförlopp simuleras med denna sprinklerreducering, där sprinkleraktivering för samtliga brandförlopp sker innan dessa kommer upp i 5 megawatt varför alternativ 1 används. Endast de profiler som inte klarade brandförloppen utan sprinkler simuleras igen, se resultatet av de reducerade brandförloppens påverkan på respektive stålprofil i Bilaga F. Sprinklernas respektive aktiveringstider tas fram med DETACT QS se Bilaga I. Eftersom pelarna i detta fall är hårt utnyttjade och alltid, i värsta fall, utsatta för direkt flampåverkan måste dessa utföras i brandteknisk klass R30.

Sprinklersystemets information:

- Fast response index, RTI=50,
- Aktiveringstemperatur: 68 °C.
- Radiellt avstånd: 2 m
- Höjd från golvnivå: 9 meter

Med sprinklernas hjälp reduceras bränderna och därmed också temperaturen i stålprofilerna varför bärförmågan vid brandförlopp 1-4 bibehålls. För brandförlopp 5 ser det dock annorlunda ut, här reduceras bärförmågan något och två diagonaler i sekundärfackverksbalken har en kritisk bärförmåga som understiger bärförmågan för brandlastfallet. Detta innebär att någon typ av åtgärd för dessa måste genomföras. Ett alternativ är att ändra dimensioner eller godstjocklek, det enklaste alternativet är däremot att se hur avståndet mellan brand och fackverk kan påverka resultatet. Detta ställer dock krav på lagrings-/ställagehöjder i lokalen i stället.

Då det i tidigare simuleringar visats att för låga effektutvecklingar ger ändring av z för korta avstånd mellan brand och konstruktion stor skillnad i ståltemperatur. Med hänsyn till detta ökar författarna avståndet endast 0,5 meter, vilket ger ett avstånd på 1,5 meter istället för 1 meter mellan flammans bas och konstruktion. Detta gjorde att diagonalernas kritiska bärförmåga översteg lastutnyttjandegraden i brandlastfallet. Resultatet medför att lagrings/ställagehöjd får reduceras med 0,5 meter.

Egentligen hade det varit tillräckligt att endast simulera om brandförlopp 5 då detta är dimensionerande. Författarna ansåg det dock intressant för rapportens skull och i utbildningssyfte att simulera samtliga brandförlopp, detta är troligtvis inte något som skulle gjorts i en verklig projektering.

8.2.9 Steg 8 – Analysera valda brandförlopp

Här görs en kontroll huruvida det dimensionerande brandförloppet täcker in de tänkbara brandförlopp som finns. Författarna anser att undersökningen av tänkbara bränder i lokalen är tillräcklig då hela spannet av, för lokalen, aktuell HRRPUA har nyttjas. Dessa värden bygger på de material som kan tänkas lagras i lokalen. Dessutom har effekten från fem olika brandförlopp undersökts, varav två stycken 14 megawatts bränder med olika diameter. Det ska dock tilläggas att det alltid finns troliga brandförlopp som hamnar utanför intervallet, som diskuterats i sista stycket i kapitel 8.2.5 ovan. Olika höjder i lokalen har också kontrollerats. Problemen kring valda brandförlopp är snarare att bestämma en representativ area av bränderna och på vilket sätt sprinklerreducering skall användas korrekt.

Ekvation 6.5b:s giltighet verkar ligga på rätt nivå då överslagsberäkningen av temperaturen från den jämförs med i TCD simulerad temperatur. Det var ingen konstruktionsdel förutom den övre fackverksbalken som behöll sin bärförmåga i något av brandförloppen utan reducering av sprinklersystemet. Att den övre fackverksbalken behåller sin bärförmåga är för att denna ligger på ett längre avstånd gentemot övriga delar och det kan tydligt ses i kapitel 6.2 att avståndet är av stor vikt vad det gäller uppkommen ståltemperatur.

9. Diskussion

Författarna av denna rapport har åsikten att lokal brand är en metod som innebär analys och beräkning av brandförlopp som tar hänsyn till både verksamhet och geometri hos bygganden.

9.1 Förtroende för EKS 9

De två största problemen med dimensioneringsmetoden lokal brand är att konsulter i branschen inte tror på den och att det råder flera oklarheter kring den. Många tycker att tidigare metoder för att lösa samma typ av brandskydd fungerat bra samt att en klar och tydlig motivering till varför metoden ändrats saknas, eller är ofullständig. Dimensioneringsprocessen innehåller alltför många ottyligheter och vid användandet av den uppkommer frågor som kan besvaras på flera olika sätt beroende på vilken konsult som använder den och dessutom på vilket svar som ”önskas”. Möjligheten finns för konsulterna att påverka samt styra indata och antaganden främst för den lokala branden i dimensioneringsprocessen vilket gör att slutresultatet blir väldigt påverkbart. Osäkerheter, valet av indata samt även okunskap gör att slutresultatet innehåller många osäkerheter samt att det slutliga brandskyddet av stålbärverket i Br2-hallbyggnader varierar i säkerhetsnivå beroende på vilken brandkonsult som utfört projekteringen.

Ett av problemen börjar redan när övertändningsregeln ska visas, här är branschen inte helt överrens om hur detta ska göras och många är till och med frågande huruvida det, med dagens tekniska system, går att visa överhuvudtaget. Detta gör att dagens konsulter även tvivlar på regelverk och föreskrifter då dessa inte alltid stämmer med verkligheten. Att kunna göra och motivera antaganden som är rimliga och relevanta är något samtliga brandingenjörskonsulter är utbildade till men föreligger det för många oklarheter blir detta för komplicerat även för någon med utbildning inom området. Detta gör att till och med konsulter med erfarenhet drar sig för att använda metoden. Författarna av examensarbetet tycker att när sannolikheten för övertändning understiger 0,5 procent visas, ska detta göras med hjälp av den faktiska brandbelastningen i hallbyggnaden.

Antaganden kan göras och motiveras på många olika sätt och det behövs tydligare anvisningar och ramar. Dessa skulle göra att processen blir lättare att följa samt även för andra parter att granska och det viktigaste är att brandskyddet blir anpassat efter det säkerhetskrav som samhället ställer. Detta är tyvärr ännu ett problem för det är inte heller helt tydligt hur samhällskravet ser ut, till vilken samhällskostnad ska brandskyddet utföras? Denna fråga är ännu en anledning till att konsulter väljer att inte använda metoden lokal brand, de ifrågasätter istället det krav, R30 enligt föreskrift, som ställs på bärverk i Br2-hallbyggnader och tycker inte att det är kostnadsmässigt försvarbart för samhället. Vilket krav samhället ska ställa är dock inte något som analyserats vidare i detta examensarbete.

9.2 Brandens parametrar

Fokus har legat på dimensioneringsmetoden och dess ingående parametrar för att klargöra deras olika betydelse i beräkningar. Enligt den regressionsanalys, som utförts på dimensioneringsmetoden och de ekvationer som används för att beräkna temperaturen i den stålprofil som utsätts för den lokala branden, är det avståndet mellan flammans bas och konstruktionsdel, z , samt diametern, D , som är de parametrar som påverkar temperaturen i

konstruktionen mest vid en variation. Det är flammen och dess brandgaser som på grund av strålning och konvektion ger konstruktionen en viss temperatur. Ju närmare konstruktionen flammen befinner sig desto varmare blir det i konstruktionen. Detta innebär att flamlängden får stor betydelse. Flamlängden beror enligt Heskestads ekvationer av brandens effektutveckling och diameter. Det är alltså HRRPUA, D och z som påverkar hur nära konstruktionen flammen kommer och därmed också ståltemperaturen. Konstanterna som getts av regressionsanalysen visar hur beroendet mellan parametrarna ser ut. Eftersom konstanten för HRRPUA inte skiljer sig mycket från konstanterna för z och D jämfört med konstanten för GT bekräftas att HRRPUA också är en av de parametrar som påverkar flamlängden. Efter regressionsanalyser och simuleringar är det tydligt att bara för att en hög effektutveckling med en stor diameter väljs, vilket skulle kunna motsvara exempelvis en stor brand på golvnivå, innebär inte detta att det blir den dimensionerande lokala branden för konstruktionen. Detta eftersom en mindre brand placerad närmare konstruktionen kan innebära större påfrestning av densamma.

9.2.1 HRRPUA

Författarna av examensarbetet tycker att en lokal brand inte kan vara generell utan den ska bestämmas med avseende på verksamhet. Vilket HRRPUA som skall representera den lokala branden är ett av de första stegen i den lokala brandens dimensioneringsprocess. HRRPUA ska anpassas efter den tänkta verksamheten i lokalen och bestämmandet av vilket eller vilka värden på denna som ska användas är relativt lätt att ta fram eftersom det finns ett flertal undersökningar av hur olika typer av material brinner.

9.2.2 Diametern

Storleken, diametern/arean, av branden är fortfarande svår att bestämma så att brandskyddet i byggnaden upprätthåller tillräcklig nivå. Genom den regressionsanalys som genomfördes är det diametern som är en av de parametrar som vid en ändring ger störst skillnad i ståltemperatur. Därför är det viktigt att denna väljs så att den faktiskt täcker in de tänkbara brandförlopp som kan uppkomma i lokalen. Dock kan ett spann av tänkbara storlekar, sett till värsta troliga fall, på bränder sett till diameter och area tas fram utifrån tänkt lagringskonfiguration. Problemet med detta är att det inte är alltid beställaren av brandskyddet vet hur förvaringen av material kommer att se ut i lokalen och då är det svårt att veta, som konsult, hur stor lokal brand som ska ansättas.

I standarden SS-EN 1991-1-2 står det att den person som ska göra valet av tillämpligt dimensionerande brandscenario förutsätts ha erforderlig kompetens och erfarenhet, alternativt ska detta bestämmas av behörig nationell myndighet. Med andra ord, ingenjören måste ibland kunna göra egna bedömningar under dimensioneringsprocessen så tillvida att en stor diameter i kombination med ett stort HRRPUA kan ge en orimligt hög maximal effektutveckling så att den lokala branden inte längre kan anses som lokal. Ett exempel på detta är i dimensioneringsprocessen med exempelbyggnaden, där ett beräknat brandförlopp fick värdet 56 megawatt, 56 megawatt kan liknas med effekten som en "tiobilsbrand" genererar dessutom hade detta brandförlopp troligtvis bränt hål på taket i byggnaden. Med detta sagt är slutsatsen att till en viss del måste ingenjören göra en anpassning av antingen HRRPUA eller

diametern och det är i detta steg frågan hur mycket anpassning av brandförloppet som är lagom. Detta är ett viktigt steg men svårt att avgränsa så att resultatet blir korrekt.

Författarna anser ändå att bestämma en HRRPUA och en diameter ger en bättre bild av verkligheten jämfört med om en maximal effektutveckling och i sin tur en diameter bestäms. HRRPUA och diametern är oberoende av varandra medan den maximala effektutvecklingen fysikaliskt beror av diametern. En maximal effektutveckling i kombination med diameter påverkar flamlängden på olika sätt medan HRRPUA och diametern påverkar flamlängden tillsammans. Med tillsammans menar författarna att en ökning av diametern innebär en minskning av flamlängden men samtidigt en ökning av den maximala effektutvecklingen vilket bidrar till en ökning av flamlängden, valen tar alltså ut varandra flamlängdsmässigt. Detta gör att konsulten inte kan påverka/anpassa flamlängden på grund av valet av parametrar lika enkelt som tidigare.

9.2.3 Avstånd mellan flammans bas och konstruktion

Valet av brandens placering, det vill säga avståndet mellan flammans bas och konstruktionen, är den parameter som enligt simuleringar och regressionsanalyser är känsligast när temperaturen i stålprofilen ska bestämmas. Det längsta avståndet mellan flammans bas och konstruktionen är enklare att bestämma än diametern då denna ges av byggnadens geometri. Dock har resultat från simuleringar och regressionsanalyser visat att endast placera en stor brand i golvnivå och anpassa brandskyddet efter detta inte utmanar byggnadens brandskydd tillräckligt. Om det inte är så att det endast ska lagras material på golvet och att användning av ställage inte förekommer, då är en dimensionerande brand som placeras i golvnivå tillräcklig.

Det som författarna anser är problemet med att ansätta brandförlopp på olika höjder är att ansätta ett rimligt högt brandförlopp på respektive höjd. För det första är det i de flesta fall så att det lagras mindre mängder material högre upp. För det andra kommer, i ett inledande skede, en brand högt upp i ett ställage, troligen vara mindre än en brand längre ner, till exempel på golvnivå, då en spridning uppåt sker betydligt lättare och snabbare rent fysikaliskt. Den mänskliga faktorn får inte heller lika stor betydelse på högre höjder vilket borde ge en mindre sannolikhet till uppkomst av brand på grund av människan. Däremot kan lampor och lysrör och dylikt antända material som lagras under dessa. Mindre lagrat material samt att branden i det inledande skedet blir mindre skulle kunna kompenseras med ett mindre brandförlopp, sett till HRRPUA eller till area. Hur mycket och hur detta ska genomföras så att det blir lika för alla och dessutom ger byggnaden ett fullgott brandskydd sett till de krav som gäller är något som bör diskuteras och analyseras vidare.

En variation av z-värdet ger störst temperaturskillnad runt det z som ger stålet en temperatur mellan 400 °C och 700 °C. För högre effektutvecklingar innebär detta att en variation av z är känsligare för ståltemperaturen då konstruktionen befinner sig på ett längre avstånd från flammans bas. För lägre effektutvecklingar är en variation av z känsligare för ståltemperaturen då konstruktionen befinner sig närmare flammans bas. Detta innebär att om en brand med lägre effektutveckling placeras högt upp, det vill säga nära konstruktionen, kan det vara bra att inte variera z i för stora steg då detta kan ge stor variation i stålets temperatur.

9.2.4 Varaktighet

Under arbetets gång har en slutsats dragits att brandförloppets varaktighet spelar stor roll för stålets slutgiltiga bärförmåga. En effektutveckling som påverkar stålet kort respektive lång tid ger skillnad i stålets förmåga att behålla sin bärförmåga. Men att kunna ansätta en korrekt varaktighet av det totala brandförloppet är svårt eftersom detta kan variera, är syretillgången helt obegränsad eller brinner det instängt så att brandgaser ständigt blandas in i förbränningen är två parametrar som kan påverka brandförloppets varaktighet. En uppfattning om ungefär hur länge ett lokalt brandförlopp kan tänkas pågå kan fås av framtagna effektutvecklingskurvor för specifika bränder.

Varaktigheten är svår att bestämma i det avseende att det lokala brandförloppet inte är definierat mer än att det inte blir övertändning i lokalen, vilket innebär att brandförloppet kan spridas mellan olika material men aldrig nå övertändning. Dock kan det antas att eftersom branden förflyttar sig påverkas inte samma konstruktionsdel av ett helt sådant förlopp. Det är därför också viktigt att alla delar av konstruktionen klarar det dimensionerande lokala brandförlopp som ansätts.

9.2.5 Sammanfattning av kombinationerna av de olika parametrarna

Placeringen av bränderna samt hur dessa ska kombineras ihop med en diameter är mycket svårare och det är här en ingenjörs kunskap, utbildning och erfarenhet måste användas för att hitta de placeringar som utmanar men samtidigt är rimliga och relevanta för byggnadens brandskydd. För att inte brandskyddet av bärverket i Br2-hallbyggnader ska skilja sig så mycket åt krävs fler och tydligare riktlinjer för hur metoden ska genomföras och även forskning inom området. Samtidigt anser författarna att det ska finnas en frihet i analysen för att uppmuntra till utveckling av nya lösningar och metoder inom brandskyddet. Om brandskyddet för byggnader med ungefär samma förutsättningar skiljer sig åt ska detta endast vara i lösningsmetod inte i säkerhet. Det är viktigt att brandskyddet anpassas efter verksamheten i byggnaden varför författarna anser att det är rimligt att ett HRRPUA bestäms efter detta. Sedan kommer ett svårare antagande nämligen vilken storlek på brandens diameter som är lämplig. Här hade det varit lämpligt med någon typ av given riktlinje eller ett angivet spann som konsulten kan anpassa valet efter med avseende på verksamhet och möjliga lagringskonfigurationer. Detta för att förhindra att konsulter försöker anpassa diametern så att resultatet visar att bärverket kan utföras oskyddat.

Författarna anser också att det bör finnas ett krav på att den lokala branden ska placeras på olika höjder i de lokaler som har en verksamhet som medför lagring eller annan typ av verksamhet närmare taket. Exempelvis om det finns ställage, läktare eller entresoler. Detta på grund av både simuleringsresultaten och regressionsanalysen faktiskt visar att avståndet mellan flammans bas och konstruktionen är av stor betydelse. Vid en jämförelse med BBRAD, där Boverket har angivit allmänna råd för hur erfordrade brandscenarier ska se ut samt vilka effektutvecklingar dessa bör ha i det tidiga brandförloppet för respektive verksamheter, anser författarna att detta borde vara möjligt att ta fram även för dimensioneringsmetoden lokal brand. Med införandet av riktlinjer och allmänna råd skulle dimensioneringsprocessen bli enklare att genomföra, enklare att granska samt att brandskyddet i Br2-byggnader skulle bli mer likvärdigt. Problemet med detta förslag är att analytisk dimensionering inte är definierat i EKS 9 och den typen av metod, liknande den för

utrymningsdimensionering, kan inte användas. Däremot hänvisas det till EKS 9 i BBRAD varför det borde vara möjligt att göra på det sätt som nämnts ovan. Boverket måste förtydliga vad som gäller angående analytisk dimensionering med föreskrifterna i EKS 9 som grund.

9.3 Tekniska system

När dimensioneringsmetoden testades på exempelbyggnaden insåg författarna att utan någon form av reducering, på grund av sprinklersystemet, av de brandförlopp som kan tänkas uppkomma i hallbyggnaden är det ingen del av konstruktionen som kan stå emot ett sådant brandförlopp oklassat. Någon form av åtgärd måste alltså göras. Detta gäller nog alla hallbyggnader som innefattar så hög brandbelastning som ett köpcentrum kan tänkas ha; att utan ett aktivt system installerat finns inga möjligheter att utföra bärverket utan brandteknisk klass.

Det råder fortfarande otydligheter kring hur mycket branden kan reduceras med hänsyn till att sprinklersystemet faktiskt kan felfungera. Var, hur och hur mycket kompensation av felfunktionen som borde göras måste analyseras vidare. Är det till exempel så att effektutvecklingen ska ökas med ett visst antal procent? Eller skulle en process liknande den som beskrivs i BBRAD reducering av brandförlopp på grund av sprinkler under utrymningsdimensionering användas? Det författarna vill poängtera och tillägga i sprinklerdiskussionen är att om det finns sprinkler installerat i lokalen och att det är visat med hjälp av detta system att sannolikheten för övertändning understiger 0,5 procent. Då innebär egentligen en fallering av sprinklersystemet en övertänd lokal och då spelar det inte längre någon roll vilken kompensation som gjorts på den lokala branden för att ta höjd för en eventuell fallering eftersom hela lokalen troligtvis kommer att involveras i en övertändning. Det skulle vara bra att satsa på att utveckla sprinklersystem som hela tiden förbättras och med en minskning i felfunktion som följd samt att föreskrifterna kring brandskydd av bärverk skrivs så att höjd för felfunktionen tas redan i de beslut som fattas under dimensioneringsprocessens gång. Med det menar författarna att föreskriften i riktlinjer och riktvärden tar höjd för eventuell felfunktion redan från start. En del säger att de som författade lagar och föreskrifter bör ha tagit i beaktande att det finns en felfunktion och att denna restriktion är något som samhället får räkna med. Restrisker kommer alltid finnas i olika delar av samhället och inte bara inom brand och sprinklerfunktioner.

9.4 F/A-värde och godstjocklek

Simuleringar med ändring av godstjockleken visar tydligt att en ökad godstjocklek ger stålet en bättre motståndskraft mot temperaturökningar, detta eftersom värmeledningen går långsammare samt att F/A-värdet blir mindre. Skillnaden i temperatur uppgick till 160 grader mellan olika godstjocklekar och då var ändringen endast 1-2 millimeter. En större ökning skulle förmodligen innebära en bättre motståndskraft, men detta ska självklart också vägas mot kostnader för stålet samt hela konstruktionens samverkan. Stålets variation i godstjocklek har större betydelse för konstruktionens bärförmåga när konstruktionen utsätts för brandförlopp med lägre effektutvecklingar. Det vill säga utsätts en konstruktion för en brand med hög effektutveckling på kort avstånd spelar det mindre roll om godstjockleken är 4 millimeter eller 6 millimeter, däremot spelar ändringen i godstjocklek större roll för lägre effektutvecklingar som trots att de är låga ger en temperatur som är kritisk för stålet.

F/A-värdet är också viktigt för hur snabbt konstruktionen värms upp, respektive svalnar av. Ett mindre F/A-värde innebär en långsammare uppvärmning av konstruktionen men det innebär också att den svalnar långsammare. Dessutom blir den maximala temperaturen lägre hos en profil med mindre F/A-värde jämfört med en profil med ett högre värde. Liksom tidigare ger även skillnad mellan lågt och högt F/A-värde en större skillnad i förmågan att stå emot temperaturökningar för lägre effektutvecklingar. Det som också är tydligt är att för högre effektutvecklingar spelar det ingen större roll vilken av profilerna som väljs utan skillnaden i kritisk bärförmåga är obetydlig. Slutsatsen är att vid en hög lastutnyttjandegrad och en lägre effektutveckling kan det få betydelse vilken profil som väljs.

Ur ett säkerhetsperspektiv är det bättre att utforma en konstruktion med tjockare godstjocklek och ett lägre F/A-värde eftersom konstruktionen då klarar högre temperaturer under längre tid. Men hur lönsamt detta är i förhållande till säkerheten som uppnås kan diskuteras. Stålets utformning i kombination med hur och vilka material som lagras i lokalen är det som borde undersökas så att den mest optimala lösning, brandskyddsmässigt, tas fram. Därför är det viktigt att brandingenjören involveras tidigt i projekteringsstadiet för projekt där dessa frågor har betydelse. Ett tidigt samarbete mellan konstruktör och brandingenjör är något som skulle kunna medföra en betydligt bättre optimering av brandskyddet och därmed också en billigare lösning för kunden. Detta är också något som påtalats vid intervjuer.

9.5 Tillväxthastighet och standardbrandkurvan

Som simuleringarna visat får tillväxthastigheten inte någon större betydelse för den lokala branden. Vid en jämförelse med standardbrandkurvan kan det tydligt ses att de lokala bränderna kommer upp i en högre temperatur betydligt tidigare i förloppet. En annan viktig skillnad är att de har en avsvalningsfas vilken i de flesta fall sker betydligt tidigare än 30 minuter in i brandförloppet. Denna tid är den som jämförs med standardbranden vilken hela tiden stiger gradvis i temperatur. Detta medför att stålprofilens temperatur-tidfält skulle kunna se liknande ut för den lokala branden och standardbrandkurvan vilket skulle medföra en liknande kritisk bärförmåga. Detta har även påvisats i simulering 4 då en lägre effektutveckling under lång tid gav ungefär samma kritiska bärförmåga som en högre effektutveckling men under kort tid.

9.6 Tredjepartsgranskning

Brandingenjörer ska vara utbildade och har ansvar för att göra rätt antaganden, anpassningar av val samt att använda rätt motivering för att uppnå ett fullgott brandskydd. Det är kanske här en tydligare och mer inramad föreskrift eller råd från Boverket hade varit på sin plats. Författarna tycker också att om denna dimensioneringsmetod används så borde ett krav på någon form av tredjepartsgranskning finnas. Vem eller vilka som ska utföra denna råder det också frågetecken kring, huruvida det ska vara räddningstjänsten, någon annan myndighet eller en opartisk konsultfirma och vem ska utse granskaren? Den kommunala räddningstjänsten (stadsbyggnadskontoret) måste bli bättre på att granska, detta förutsätter dock att räddningstjänsten är införstådda med problem och förutsättningar, vilket är svårt i många små kommuner. Kanske borde Boverket utföra en ram även för hur granskningen av en lösning med metoden lokal brand ska se ut.

9.7 Begränsningar och förenklingar

Dimensioneringsmetoden lokal brand innefattar en mängd olika infallsvinklar vilket innebär att delar inte kunnat undersökas och analyseras i arbetet.

Inför simuleringar och beräkningar måste olika typer av lokala brandförlopp bestämmas. Det är omöjligt att testa alla olika möjliga brandförlopp och dessutom kommer troligtvis aldrig det verkliga brandförloppet följa det brandförlopp som undersökts. Analyserna resulterar i ett intervall av utfall (brandförlopp) som är baserade på konservativa antaganden. På grund av att möjliga brandförlopp har lämnats utanför analysen kommer det inte heller tas hänsyn till konsekvenserna av dessa trots att sannolikheten för dessa är skild från 0 eller till och med trolig, likt den diskussionen Paté-Cornell (1999) för i sin artikel *Conditional Uncertainty Analysis and Implications for Decision Making*. Detta innebär en svaghet i om valt brandförlopp faktiskt täckt in övriga brandförlopp i analys och beräkningar.

Endast ett simuleringsprogram har använts och givetvis medför simuleringsprogram approximeringar och förenklingar av verkligheten. För att kunna använda programmet bestäms ett temperatur-tidförlopp genom att användaren bestämmer en effektutvecklingskurva vilket är en approximering. Det vill säga programmet räknar inte på brandförlopp och bränslen utan endast på värmeöverföring, genom konvektion och strålning, från en temperatur som användaren bestämt. Programmet är internt validerat och används av Imperial College London och av SINTEF i Norge. Ingen extern validering är tillgänglig.

Författarnas regressionsanalys baseras även denna på ståltemperaturer som är framtagna med hjälp av simuleringsprogrammet. Återigen är det författarna som bestämt hur de olika brandförloppen ska se ut och hur parametrarna varierar utefter de kunskaper och erfarenheter författarna besitter.

Ekvationen/uttrycket som tagits fram med regressionsanalysen, se ekvation 6.5b, är en modell för hur en snabb överslagsberäkning av ståltemperaturen kan göras uppbyggt på modellen i programmet TCD. Detta innebär att författarna har gjort en modell av en modell (TCD) som bland annat bygger på Heskestads plymmodell vilken i sin tur bygger på experiment. Detta medför osäkerheter men också begränsningar på grund av giltighetsområdet.

Uttrycket har intern validitet genom regressionsanalysen medan den externa validiteten inte är lika stor. En extern validitet skulle kunna uppfyllas med hjälp av att utföra verkliga experiment, till exempel proveldning på stålkonstruktioner, vilket författarna inte har haft möjlighet till.

Författarna har endast beräknat kritisk bärförmåga med hjälp av TCD, det finns också andra modeller, till exempel andra finita element modeller eller att genom temperaturanalys och F/A-värde beräkna stålets kritiska temperatur för en viss utnyttjandegrad enligt SS-EN 1993-1-2:2005.

I efterhand tycker författarna att det hade varit av stor vikt att även få med F/A-värdet i en regressionsanalys eftersom denna parameter möjligtvis hade påverkat den maximala ståltemperaturen i större grad än vad en variation av godstjockleken gör.

10. Slutsats

I följande kapitel dras slutsatser genom att besvara examensarbetets frågeställningar samt kontrollera huruvida syftet och målet med arbetet har uppfyllts.

Vilka svårigheter finns med att ta fram en dimensionerande lokal brand för en hallbyggnad?

Det har konstaterats att svårigheterna inte bara ligger i själva dimensioneringsmetoden lokal brand utan redan innan, i processen, att visa att metoden kan användas i en viss byggnad.

Dessa svårigheter består av att många konsulter inte håller med om brandskyddskravet som ställs på bärverket utan tycker att det är för stor kostnad i förhållande till faktisk nytta. Det råder även tveksamheter kring vilka två tekniska system som gör det möjligt att genomföra övertändningsbeviset.

Avsaknaden av vägledning och riktlinjer kring hur den dimensionerande lokala branden ska se ut. De parametrar som är svårast att bestämma är HRRPUA samt brandens diameter för att dessa ska kunna representera de verksamheter som brandskyddet ska dimensioneras efter.

Många konsulter tolkar kopplingen mellan BBRAD och EKS 9 olika, vilket gör att dimensioneringen genomförs på olika sätt.

Idag måste flera antaganden och val göras när dimensionering sker med hjälp av lokal brand.

Förslag på förbättringar:

- De personer som använder regelverken måste ha förtroende för dessa och det är viktigt att regelverken bestäms utefter relevanta underlag samt att reglerna är synkroniserade med samhällets krav.
- Tydlighet i föreskrifter samt möjligheter för konsulten att uppfylla dessa.
- Fler ramar för de antaganden som måste göras under dimensioneringsprocessen.

Vad får lov att göras inom ramen för EKS 9 samt vilka känslig- och osäkerheter finns det i modellen för lokal brand?

Metoden lokal brand får lov att användas om det kan visas att sannolikheten att en lokal övertänds understiger 0,5 procent.

Föreskriften för lokal brand är fåordig vilket utökar möjligheterna kring vad som får göras. Paragraftexten säger att hänsyn ska tas till de förhållanden som kan förväntas uppstå i byggnaden samt till bränslets höjd och placering i rummet. Dessa förhållanden är svåra att bestämma och innebär ett flertal antaganden vilket skapar stora känslig- och osäkerheter.

Ytterligare en osäkerhet med EKS är huruvida analytisk dimensionering får lov att användas eller inte, detta eftersom analytisk dimensionering inte definieras i EKS 9. På grund av den text som står i BBRAD anser författarna att en avvikelse från de allmänna råden i EKS med analytisk dimensionering ska vara möjligt.

EKS säger att effekten av fast installerade tekniska system kan användas för att reducera den lokala branden under förutsättning att den totala sannolikheten för brott inte ökar. Hur hänsyn till felfunktionen ska tas är oklart.

Vilka/vilken av den lokala brandens egenskaper har störst påverkan på stålbärverket?

Störst påverkan på temperaturen inuti stålkonstruktionen har val av parametern z, avstånd mellan flammans bas och konstruktion men även D, den lokala brandens diameter, se figur 6.3.

Brandens HRRPUA påverkar också ståltemperaturen vilket innebär att denna också måste tas i beaktande, godstjockleken spelar mindre roll.

För brandförlopp med hög effektutveckling samt en placering av denna nära konstruktionen gör att en variation av parametrar blir mindre känsligt för stålkonstruktionens temperatur.

Vilka parametrar hos branden och stålbärverket är avgörande för att uppnå erfordrad skyddsnivå?

Brandens parametrar påverkar temperaturökningen i stålbärverket i större grad än de parametrar hos stålet som motverkar en temperaturökning.

Stålprofilens F/A-värde samt godstjocklek har mer betydelse för konstruktionsdelens förmåga att behålla sin bärförmåga då denna påverkas av lägre effektutvecklingar.

Brandförloppets varaktighet har betydelse för konstruktionens kritiska bärförmåga då en viss effektutveckling under kort tid påverkar konstruktionen betydligt mindre än samma effektutveckling under längre tid.

Hur ska den dimensionerande lokala brandens egenskaper väljas för att utmana byggnadens brandskydd för att möta kraven som ställs i EKS 9?

Brandens placering i höjddled måste undersökas under dimensioneringsprocessen och brandens HRRPUA ska vara anpassat efter de material och verksamheter som kan tänkas finnas i byggnaden. Storleken av brandens area eller diameter är viktig och i många fall avgörande. Denna är svår att bestämma utan vidare riktlinjer från Boverket för att få ett likvärdigt brandskydd av bärverk. Författarna anser att det kan upprättas ett spann av diametrar, utifrån lokalens verksamhet, som innebär att effektutvecklingen varken blir för låg eller för hög. Här är ingenjörsmässiga bedömningar oundvikliga.

Boverket borde ta fram en vägledning liknande de tabellerna i BBRAD för utrymningsdimensionering. Detta så att konsulten kan bestämma en tillräckligt stor lokal brand för respektive verksamhet.

Brandförloppets varaktighet är av stor betydelse och bestäms med hjälp av en bedömning av projektören. Stöd att bestämma varaktigheten finns att hämta från framtagna effektutvecklingskurvor för olika material. Alla delar av konstruktionen ska utmanas av de lokala bränder som tagits fram för lokalen, så till vida om det inte finns specifika platser för respektive material.

Huruvida brandskyddet kan utföras oklassat eller måste utföras i brandteknisk klass är beroende av ett automatiskt sprinklersystem. Det måste förtydligas i föreskriften hur det tekniska systemet får påverka det lokala brandförloppet. Eftersom ett sprinklersystem har så stor betydelse för byggnadens brandskydd bör det läggas resurser på att förbättra tillförlitligheten hos systemen samt hitta ytterligare ett system som kan komplettera sprinkler.

10.1 Uppfylls syfte och mål med rapporten?

Syftet med rapporten var att kartlägga de svårigheter som finns när en dimensionerande lokal brand skall bestämmas. Författarna anser att svårigheterna är många men att en kartläggning av dessa har genomförts, dock har inte respektive svårighet analyserats på det djup som författarna hade önskat. Syftet var dessutom att främja en enhetlig tillämpning av regelverket. Eftersom denna kartläggning förhoppningsvis har gett nya infallsvinklar på problemet hoppas författarna att det även kan främja att nå en enhetlig tillämpning av regelverket.

Målet var att utreda vilka parametrar hos både brand och konstruktion som är avgörande för utformningen av brandskyddet och dessutom utvärdera vilka parametrar hos den lokala branden som dimensioneringsmetoden är mest känslig för. Målet anses vara uppfyllt med stöd i svaren på ovanstående frågeställningar samt resultat från simuleringar och regressionsanalys för de typer av brandförlopp och lokaler som studerats.

Ett annat mål var att ta fram en vägledning för dimensioneringsmetoden lokal brand och i sin tur testa denna i en fallstudie. En vägledning är framtagen och testad dock borde denna kunna förbättras och utvecklas när fler beslut och undersökningar kring de olika delarna i flödesschemat gjorts.

11. Förslag till fortsatta studier

Ett problem med detta examensarbete är att det är brett och översiktligt täcker in många bitar. Dimensioneringsmetoden lokal brand innefattar ett flertal enskilda delar där flera av dessa skulle kunna utgöra ett eget 30 högskolepoängs examensarbete. Författarna hoppas att detta arbete har, utöver de delar som analyserats mer ingående, gett en överblick av vilka områden som behöver utredas ytterligare. De olika områdena presenteras närmare nedan.

- Förtydligande av regler och föreskrifter
 - Undersök hur EKS kan synkroniseras med BBR, BBRAD för att kunna ge en helhetssyn av Sveriges lagar och föreskrifter.
 - Kartlägga hur ekonomiskt försvarbart det är att utföra taket i brandteknisk klass R30 i förhållande till samhällskraven. Detta borde ge konsulter en högre tro på EKS.
 - Figur C-2 i EKS 9 bör också undersökas vidare då det fortfarande råder delade meningar om denna i brandkonsultvärlden.
 - Ta fram en vägledning för hur de oberoende tekniska systemen ska tas fram för att genomföra övertändningsbeviset.
- Utveckling av metoden
 - Analysera och utveckla en eller flera metoder för att bestämma sannolikheten för övertändning i en byggnad.
 - Analysera hur en eventuell reduktion av den lokala branden med hjälp av sprinkler kan/ska se ut.
 - Det är olika sannolikt att en brand startar på olika höjder i lokalen samt att en brand högre blir mindre. En undersökning alternativt en analys av hur denna variation i sannolikhet samt storlek kan kompenseras med en lägre HRRPUA eller liknande hade varit bra.
 - Kan en pelare utformas med olika brandskydd i höjddled.
 - Är olika profiler olika känsliga/beroende av godstjocklek?
 - Analysera F/A-värdets betydelse för konstruktionens bärförmåga.
- Reducering av osäkerheter kring metoden
 - För att ett arbete med analytisk dimensionering skall kunna ske måste/bör analysen tredjepartgranskas. En utredning bör genomföras av vem som kan utföra granskningen, om det till exempel ska vara räddningstjänsten eller liknade och hur den i så fall skall göras.
 - Ta reda på om det finns någon/några andra ekvationer som kan representera den lokala branden bättre vid en beräkning. Det vill säga en ekvation som inte approximerar flamtemperaturen med 900 °C.

12. Litteraturförteckning

Abrahamsson, M. (1997). *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*. Lund: Lunds universitet.

Andersson, G., Jorner, U., & Ågren, A. (2010). *Regressions- och tidsserieanalys*. Lund: Studentlitteratur. ISBN: 9789144029870

Andersson, M., & Wadensten, K. (2002). *Brandteknisk riskanalys - indata, metodik och osäkerhetsanalys*. Lund: Lunds Universitet.

BE Group Sverige AB (1). (2013). *Information balk*. Hämtat från BE Group: http://www.begroup.com/sv/BE-Group-sverige/Produkter/Stal_ror/Produktinformation/Produktinformation-balk/ den 10 09 2013

BE Group Sverige AB (2). (2013). *Information hålprofiler*. Hämtat från BE Group: http://www.begroup.com/sv/BE-Group-sverige/Produkter/Stal_ror/Produktinformation/Produktinformation-halprofiler-VKRKKR/ den 10 09 2013

Boverket (1). (den 29 05 2012). Angående ert brev 2012-02-20 om EKS och bärverk i hallbyggnader. *Diariennr: 1234-1010/2012*. Karlskrona: Boverket.

Boverket (2). (2013). *EKS 9, BFS 2013:10*. Karlskrona: Boverket.

Boverket (3). (2013). *BFS 2013:12, BBRAD 3*. Karlskrona: Boverket.

Boverket (4). (2013). *Regelsamling för byggande, BBR 20, BFS 2013:14*. Karlskrona: Boverket.

Brandteknik (1). (2005). *Brandskyddshandboken, Rapport 3134*. Lund: Lunds tekniska högskola.

Brandteknik (2). (2012). *Brandskyddshandboken, Rapport 3161*. Lund: Lund tekniska högskola.

Coté, R., & Harrington, G. (2012). *NFPA 101, Life Safety Code Handbook*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Fire Safety Design AB. (2002). *TCD 5.0 Users Manual*. Göteborg: Fire Safety Design.

Frindberg, S., Lantz, E., Lidell, K., & Mattsson, K. (2011). *Brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs centrum*. Lund: Lunds universitet. Rapportnummer: 9395.

Fysikum, Stockholms universitet. (den 28 09 2010). *Laborationsinstruktion Laboration 2 Upptäck ett samband - fjädern*. Hämtat från Fysikum, Stockholms universitet: http://www.fysik.su.se/grulab/teaching/2011/fexp/laborationer/Lab2/lab2_fjadern.pdf den 11 10 2013

- Hägg, A., & Lindqvist, A. (2007). *Finita elementanalys av en brandutsatt fackverksbalk i stål*. Lund: Structural Mechanics, Lunds Tekniska Högskola. ISSN: 0281-6679.
- Hellgren, F., & Hällstorp, E. (1999). *Brandanalys av SKBs Kapsellaboratorium*. Lund: Lunds universitet. Rapportnummer: 9395.
- Henriksson, M. (2008). *Fördjupad brandöversyn - Fartygsmanufaktur SSAB-tunnplåt, Luleå*. Luleå: Luleå tekniska universitet. ISSN: 1402-1552.
- Infovoice. (den 05 01 2002). *Korrelation och regression*. Hämtat från <http://infovoice.se/fou/bok/statmet/10000053.shtml> den 29 10 2013
- Infovoice. (den 31 07 2005). *Multipel linjär regression*. Hämtat från <http://infovoice.se/fou/bok/statmet/10000073.shtml> den 30 10 2013
- Johansson, B. (2004). *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Lund: Lunds universitet. Rapportnummer: 5135.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Florida, United States of America: CRC Press LLC. ISBN: 9780849313004.
- Kaya, R. (2012). *Konstruktion av kostnadseffektiv fläkt till härdningsugnar*. Teknisk-naturvetenskaplig fakultet. Uppsala: Uppsala universitet.
- Kong, D., Johansson, N., van Hees, P., Lu, S., & Lo, S. (2012). A Monte Carlo Analysis of the effect of heat release rate uncertainty on available safe egress time. *Journal of Fire Protection Engineering* , 1-24.
- Martinez de Aragón, J. J., Rey, F., & Chica, J. A. (2003). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao: LABEIN Teknologiskt centrum.
- NFPA. (1995). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*.
- Paté-Cornell, E. (1999). Conditional Uncertainty Analysis and Implications for Decision Making: The Case of WIPP. *Risk Analysis* , Vol. 19 (No. 5), 995-1002.
- Ranby, A., & Karlström, P. (den 27 11 2002). *Brandskyddsteknisk projektering*. Hämtat från Stålbyggnadsinstitutet: <http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/Brandskyddsdimensionering%20av%20stalkonstruktioner.pdf> den 13 06 2013
- Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires*. Lund: Lunds universitet. ISSN 1102-8246.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting Design Fires*. Lund: Lunds universitet. Rapportnummer 7032.
- Stålbyggnadsinstitutet (1). (den 01 10 2013). *Hallar och industrier*. Hämtat från Stålbyggnadsinstitutet:

http://www.sbi.se/omraden/o_kat_dokument.asp?mId=1&kId=7&subKId=0&mgrp=0 den 04 10 2013

Stålbyggnadsinstitutet (2). (2008). *Byggsystembeskrivningar och fallstudier för kommersiella byggnader*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

Stålbyggnadsinstitutet (3). (2013). *Stålets egenskaper*. Hämtat från Stålbyggnadsinstitutet: http://www.sbi.se/omraden/o_dokument.asp?mId=9&kId=44&subKId=0&mgrp=0&dId=118 den 12 09 2013

Stålbyggnadsinstitutet (4). (2013). *Tak*. Hämtat från Stålbyggnadsinstitutet: http://www.sbi.se/omraden/o_kat_dokument.asp?mId=1&kId=7&subKId=102&mgrp=0 den 11 10 2013

Stålbyggnadsinstitutet (5). (2008). *Byggsystemsbeskrivningar och fallstudier för - Industribyggnader*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

Strömgen, M. (den 21 12 2009). Förtydligande angående särskild utredning enligt Boverkets byggregelr avsnitt 5:81. Karlskrona, Sverige: Boverket.

Swedish standards institute (1). (2007). *SS-EN 1991-1-2 Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-2: Allmänna laster - Termisk och mekanisk verkan av brand*. Stockholm: SIS Förlag AB.

Swedish standards institute (2). (2005). *SS-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering*. Stockholm: SIS Förlag AB.

The MathWorks, Inc. (2013). *MATLAB Primer R2013b*. Natick MA, USA: The Mathworks, Inc.

Thor, J. (2009). *Hallbyggnader i klass Br1 och Br2 bärande takkonstruktioner och brand*. Stockholm: Brandskyddslaget.

Thor, J. (2007). *Takkonstruktioner till en- och tvåvåningsbyggnader*. Stockholm: Brandskyddslaget.

Bilaga A - Intervju

För att få en bättre uppfattning kring problemen och svårigheterna hos dimensioneringsmetoden lokal brand ligger genomfördes en rad intervjuer med aktörer som använder sig av dimensioneringsmetoden i det dagliga arbetet. Författarna anser att det är dessa aktörer som arbetat eller försökt arbeta med metoden som har bäst insyn och åsikter. Nedan presenteras de frågor som var som stöd under intervjuerna. För att få bra och ärliga svar använde sig författarna en semistrukturerad intervjumetod.

Intervjufrågor (Stödunderlag)

Förutsättningar: Stålbärverk i Br2-hallbyggnader.

Konsult

1. Vilka svårigheter finns med att ta fram en dimensionerande lokal brand för en hallbyggnad?
2. Hur tänker ni när ni bestämmer den lokala branden? Placering På vilket sätt tycker ni att sprinkler kan påverka dimensionerande lokal brand? Finns det andra system?
3. Finns det några problem med dimensioneringsmetoden enligt er, i så fall vilka?
4. Vad finns det för positiva aspekter?
5. Är det självklart för er hur man ska gå tillväga? Det vill säga är det lätt/svårt att tolka EKS 9, varför är det lätt/svårt
6. De tre olika metoderna (EKS) att brandskyddsprojektera bärvärk, hur ser ni på detta och vad är skillnaden mellan dessa?
7. Dimensioneringsmetoden lokal brand vid bärverk, hur ser ni på den?
8. Hur lokal kan den lokala branden vara? (ex. olika skydd på samma pelare)
9. Några egna synpunkter inom ämnet?

Konstruktör

10. Hur mycket påverkar de olika egenskaperna (profil, godstjocklek etc) hos stålet hur mycket en stålkonstruktion kan lastutnyttjas under brandpåverkan?
11. När i projekteringen börjar ni ta hänsyn till/tänka brand?
12. Vad är svårt att hantera brandmässigt för pelare, balkar respektive fackverk och varför?
13. Ungefär hur mycket ökar kostnaden med ökad godstjocklek?
14. Hur anser du att en optimal konstruktion ser ut? Kostnadsmässigt i kombination med hur mycket last denna kan utsättas för?

Räddningstjänst

15. Är metoden vanligt förekommande i de dokumentationer för Br-hallbyggnader som ni tagit del av?
16. Förekommer flera olika typer av lösningar för dimensioneringen av bärverket?
17. Hur ser de vanligast förekommande lösningarna ut?
18. Är det lätt/svårt att tolka och förstå lösningarna?
19. Vilken/vilka lösningar förespråkar ni?

20. Hur tidigt i projektering blir ni involverade, om ni blir det överhuvudtaget?
21. Hur tänker ni inför en insats i en Br2-hallbyggnad?
22. Hur ser en insats normalt ut i denna typ av byggnad? Tas hänsyn till hur bärverket är dimensionerat?
23. Är det skillnad på insatser i byggnader med oskyddat bärverk, oskyddat takbärverk, bärverk skyddat för att klara den lokala branden, bärverk klassificerat i R30?

Följande personer har intervjuats och diskussionerna som fördes under respektive intervju har använts som underlag tillsammans med studier av regelverk, diskussionsforum, publikationer, tidigare utredningar samt konsekvensutredningar för att ta fram en punktlista över de huvudsakliga svårigheterna kring dimensioneringsmetoden lokal brand.

Intervjuade:

Peter Arnevall, Uppsala Brandförsvär
Kjell Fallqvist, Brandkonsulten Kjell Fallqvist
Lars Fektenberg, Llentab
Peter Gustafsson, Llenab
Sebastian Jeansson, FSD Malmö
Thomas Järphag, NCC
Fredrik Lindblad, Llentab
Fredrik Lovén, FSD Göteborg
Johan Lundin, WSP
Oscar Löfgren Ferraz, Brandkonsulten Kjell Fallqvist
Björn Mattsson, Boverket
Cedrik Persson, Bengt Dahlgren
Jörgen Thor, Brandskyddslaget

Kort sammanställning av intervjuer

I nedanstående stycken presenteras en kort sammanställning av intervjuerna för att få en överblick över hur många av de intervjuade som har tyckt samma sak.

Vilka svårigheter finns med att ta fram en dimensionerande lokal brand för en hallbyggnad?

Fyra stycken svarade att den största svårigheten var att visa att sannolikheten för övertändning understiger 0,5 %, vilka två oberoende tekniska system förutom sprinkler kan det vara?
”Brandgasventilation kan hjälpa till att hindra en övertändning för att temperaturerna i brandgaslagret sjunker, men samtidigt tillförs mer syre vilket i sin tur kan leda till övertändning, hur beräknas sannolikheten för brandgasventilation?”

En svarade att det var svårt att vara konservativ i sitt tänkande eftersom den lokala branden inte är det värsta fallet i lokalen.

Sju personer svarade att svårigheten låg i att bestämma den dimensionerande lokala brandens omfattning, sett till varaktighet, placering samt effektutveckling.

”Om det är låg brandbelastning är det relativt enkelt att hitta en dimensionerande brand, men om det är hög brandbelastning, vad ska man då välja som den lokala branden?”

”Att bestämma förutsättningar är ingenjörsmässiga bedömningar, och det är de flesta av oss utbildade till.”

”I dagsläget har vi för dålig kunskap att bestämma alla dessa ingående parametrar teoretiskt.”

Hur tänker ni när ni bestämmer den lokala branden? Placering etc

Tre stycken svarade att den lokala branden ska bestämmas efter verksamhet, det vill säga byggnaden blir anpassad efter en eller flera tänka verksamheter.

Tre stycken testade olika placering i höjddled beroende av lokalens utseende, sett till entresolplan, ställage osv.

En person försökte ta hänsyn till varaktigheten, dock innebar detta ett problem, för hur vet man hur länge den lokala branden varar?

Två stycken använde sig endast av en brand, tillräckligt stor, placerad i golvnivå.

Två stycken använde sig av utrymningstid mot tid till kollaps av bärverk.

”Är det papperskorgar, pallar eller chips? Ingenjörsmässiga bedömningar. Det finns mycket stöd att hitta i handböcker, ISO-standarder, IFEG (Australien) etc. Men dessa ska hittas. Den lokala branden som man bestämmer är inte den som kommer att inträffa när det väl brinner, men den ska kunna täcka upp för de som kan inträffa.”

På vilket sätt tycker ni att sprinkler kan påverka dimensionerande lokal brand? Finns det andra system?

Tre personer tog ej hänsyn till reducering av brandens effekt på grund av sprinkler eftersom sprinklernas funktion redan använts för att visa att det inte blev övertändning i byggnaden.

Fyra personer tog hänsyn till sprinklernas påverkan på den lokala branden. Två stycken använde sig av BBRAD för att beräkna sprinklernas reducering. En person använde sig av begreppet restrisk och menade på att man inte borde ta hänsyn till sprinklernas felfungerande ännu en gång.

”Hur beräknar man sprinklers sannolikhet för fungering, jag menar hyresgästen kan ju möblera på ett visst sätt så att sprinklernas funktion försämras.”

Finns det några problem med dimensioneringsmetoden enligt er, i så fall vilka?

Fyra personer svarade att det saknas ramar för hur man som konsult ska gå tillväga. Dessutom tycker de att ramarna behövs för att tillämpa dimensioneringsmetoden på rätt sätt.

Tre personer svarade att kostnaden för R30-kravet överstiger den kostnaden som samhället accepterar. (Samhället accepterar en viss risk för att inte kostnaderna ska blir för stora).

Sex personer svarade att det är alldeles för lite information om hur dimensioneringsmetoden lokal brand ska användas.Handledning och ramar behövs för att den ska användas på liknande sätt bland olika konsultfirmor.

En person svarade att metoden kräver att man både har läst konstruktion och brand för att kunna tillämpa den på ett korrekt sätt.

Två personer svarade att ett av problemen med metoden är att det inte tas någon hänsyn till takplåten.

Vad finns det för positiva aspekter?

Två personer svarade att med rätt styrning kan konkurrensen bidra till att utveckla bättre och billigare brandskydd.

Fyra personer svarade att de tror att dimensioneringsmetoden kan ge lägre kostnader för bärverket bland annat eftersom hänsyn till den faktiska brandbelastningen tas och brandskyddet kan slimmas.

Är det självklart för er hur man ska gå tillväga? Det vill säga är det lätt/svårt att tolka EKS 9, varför är det lätt/svårt ? Vad skulle kunna förbättras?

Samtliga intervjuade tycker på ett eller annat sätt att § 9 Lokal brand är svårtolkad.

Förtydligande av regler som till exempel kopplingen mellan BBRAD och EKS men även sprinklernas påverkan på den lokala branden, fler rammar/vägledning och mer forskning på området krävs för att tillämpningen av metoden ska vara som bäst.

Dock varierade det i hur ofta man tillämpade metoden. Ungefär hälften av de intervjuade har en metod för att tillämpa metoden när brandteknisk klass av bärverk skall bestämmas.

Egna synpunkter

Tre personer ställde sig frågan vad skillnaden mellan bärverk i form av fackverk och pelare jämfört med ställage var? Ställage kan utföras utan brandteknisk klass vilket innebär att ställagen får kollapsa. Ett ställage som kollapsar över en människa får troligen lita stora konsekvenser som en pelare eller fackverksbalk.

Referensbyggnad ska inte tillämpas vid dimensionering av bärverk eftersom referensbyggnad tittar på hela byggnaden medan EKS behandlar varje enskild byggnadsdel enligt en av de intervjuade.

Tre av de intervjuade tror att räddningstjänsten går in och att det är svårt för dessa att avgöra om bärverket kommer att kollapsa eller inte. Dessutom är det svårt att känna av strålningsnivån från en brand då det ofta finns möbler och liknande att ta skydd bakom.

Två av de intervjuade tror inte att räddningstjänsten går in eftersom strålningen från en brand som är så stor att bärverket skulle kollapsa blir för hög.

Bilaga B - Handberäkningar

De handberäkningar som har genomförts är för att kontrollera vilka kombinationer av Q, D och z som ligger inom giltighetsspannet för den första ekvationen i *Svensk standard SS-EN 1991-1-2, Bilaga C*. Detta genomfördes för att kunna veta vilka värden på respektive parameter som kunde användas i kombination med de andra under simuleringarna i TCD. Skillnaden mellan handberäkningar och TCD är att TCD tar hänsyn till även när flammen når taket och sprider ut sig radiellt medan detta inte har beräknats och analyserats i handberäkningarna.

Handberäkningarna bygger, som tidigare nämnts, på de första ekvationerna i *Svensk standard SS-EN 1991-1-2, Bilaga C*, se ekvation 2.1 - 2.3. Olika värden på Q, D och z har varierats och temperaturer på olika ställen i plymen ovan flammen har beräknats, uppbyggnaden av ekvationen samt hur ett giltighetsspänn för en viss parameter kan avläsas i tabell B.2

I tabell B1 nedan anges det hur temperaturen i plymen kan beräknas genom att fylla i diameter, effektutveckling samt takhöjd. Ekvationens begränsningar är att flamlängden måste vara mindre än takhöjden samt att ekvationen är endast giltig för temperaturer under 900 °C. Detta innebär att genom att testa olika parametrar i kombinationer få fram inom vilket spann, det vill säga vilka värden på respektive parameter, för vilken ekvationen är giltig, se tabell B2.

Tabell B. 1. En stillbild av beräkningsmetoden i Excel.

	Röd - beräknas åt	
Blå - ange själv	dig	
Diameter [m]	2,820948	
Effektutveckling [MW]	10	
Takhöjd [m]	10	
z (Lf<H [m])	8,5	Välj var i plymen du vill mäta
Qc [W]	8000000	$Q_c = 0,8 * (Q * 10^6)$
z0 [m]	0,42885	$z_0 = -1,02 * D + 0,00524 * ((Q * 10^6)^{(2/5)})$
Flamlängd [m]	6,460802	$L_f = -1,02 * D + 0,0148 * ((Q * 10^6)^{(2/5)})$
T(z) ≤ 900 [°C]	327,92225	$T(z) = OM(L_f < H; (20 + 0,25 * (Q_c^{(2/3)}) * ((z - z_0)^{(-5/3)}))); 901$

Tabell B. 2. Ett exempel på ett giltighetsspänn för temperaturen där diametern är konstant och z respektive Q varierar.

Temperatur i plymen map z, D=1,2, Q varierar.						
z/Q	0,5 MW	1 MW	2 MW	5 MW	7 MW	10 MW
2,6 m	260,197001	902,9786149	1023,238531	3994,283431	8497,340376	29971,52615
3 m	212,6472426	641,7664465	769,0220145	2575,39533	4757,66138	11557,16746
3,5 m	171,5235265	554,5789254	571,9586318	1689,531427	2829,084897	5608,774007
4 m	142,8420136	485,4287982	446,4680566	1209,787631	1908,063731	3398,05862
4,5 m	121,9566202	429,555892	361,1158578	917,9590518	1390,206002	2315,994453
5 m	106,2243237	383,6911638	300,1496546	725,8759589	1067,285184	1698,461701
5,5 m	94,04558327	299,1788087	254,92086	592,0157087	850,9566377	1309,512766
6 m	84,40325902	242,2207652	220,3388844	494,601195	698,1981999	1047,067971
6,5 m	76,62382044	201,8171296	193,238299	421,2581164	585,88588	860,7351468
7 m	70,24594201	172,0055234	171,5612867	364,5043322	500,6307396	723,1547538
8 m	60,4845248	131,5904742	139,3489016	283,3550483	381,3560266	536,4974137
9 m	53,43893809	105,9877679	116,8449663	228,9802894	303,2654311	418,1575947
10 m	48,1688428	88,63986724	100,4367633	190,577733	249,059663	337,9268816

Bilaga C - Beräkningsprogram

Temperature Calculation and Design, TCD, är utvecklat av företaget *Fire Saftey Design AB* och används bland annat för att beräkna hur temperaturen inuti en konstruktion ser ut efter att densamma har påverkats av ett brandförlopp. Beräkningsmetoden i programmet är tvådimensionellt och består av finita element. Differentialekvationen som används för det tvådimensionella värmeflödet baseras på bevarandet av energi. Detta innebär att det totala inflödet av värme per tidsenhet är lika med det totala utflödet av värme per tidsenhet. Fouriers lag om värmeledning beskriver värmeöverföringen inuti materialet.

Värmeöverföringsproblemen löses i rektangulära, cylindriska eller polära koordinatsystem (Fire Safety Design AB, 2002). Programmet är validerat av både Imperial College och SINTEF. De har validerat genom att jämföra beräkningar i TCD med hjälp av brandtester i laboratorium.

Programmet är designat för att kunna beräkna

1. Temperaturförhållandena inuti konstruktionen.
2. Stålbalkars böjningskapacitet.
3. Armerade betongbalkars böjningskapacitet.
4. Kompressionsmotstånd, kritisk Euler-knäckningskapacitet samt utformning av lastkapacitet hos stål, betong, komposit stål och betongpelare.

TCD använder sig av temperatur – tid – kurvor när beräkning av värmeöverföring till konstruktionen sker (Fire Safety Design AB, 2002). För att kunna översätta effektutvecklingskurvor till temperatur – tid – kurvor används programmet MATLAB, *Matrix Laboratory*. Programmet är framtaget av *MathWorks* och är ett datorprogram samt ett programspråk och används mest för matematiska samt tekniska beräkningar (The MathWorks, Inc., 2013).

MATLAB är ett program som bland annat ger möjligheter att utföra och automatisera många beräkningar med hjälp av skript. MATLAB ger stöd för; läsa/skriva till fil, visa bilder, grafik och diagram samt skapa grafiska användargränssnitt. Programspråksdelen är ett skriptspråk vilket innebär att det skrivna programmet tolkas under körningen (The MathWorks, Inc., 2013).

I examensarbetet används MATLAB för att översätta olika effektutvecklingskurvor till temperatur – tid – kurvor. Effektutvecklingskurvorna byggs upp i en vanlig textfil där olika typer av variationer sker för att kunna undersöka hur brandens olika egenskaper påverkar temperaturen inuti konstruktionen (The MathWorks, Inc., 2013).

C.1 Den matematiska modellen av Tempcalc, TCD

För att kunna ta fram temperaturprofilen inuti en konstruktionsdel har programmet byggts upp av en rad ekvationer och uttryck. I nedanstående stycken kommer dessa att presenteras lite närmare.

Värmeflöde

Värmeflödet per area över en gräns per tidsenhet representeras av vektor q . Vektorn har samma riktning som värmeflödet, vinkelrät mot ytan och dess längd uttrycker hur mycket värme som passerar en yta per tidsenhet. Ekvation C.1 beskriver värmeflödet (Fire Safety Design AB, 2002).

$$q = \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \end{pmatrix} \quad [\text{J/m}^2\text{s}] \quad \text{Ekvation C.1}$$

Gränsen representeras av en vektorn och beskrivs nedan i ekvation C.2.

$$n = \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix} \quad |n| = 1 \quad \text{Ekvation C.2}$$

Det totala värmeflödet som passerar gränsen per area- och tidsenhet kallas för flödet och ges av uttrycket ekvation C.3.

$$q_n = q^T n \quad \text{Ekvation C.3}$$

Konstruktiv relation

För nuvarande finns endast isotopa material realiserade i Tempcalc och med hjälp av Fourier's lag samt temperaturen T och konduktiviteten k beskrivs värmeflödet med följande ekvationer (Fire Safety Design AB, 2002).

$$q = -D\Delta T, \text{ där } D = -\begin{pmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{pmatrix} \text{ på grund av de isotopa materialen}$$

och

$$q = -k\Delta T$$

ECB- ekvation för att lösa problemet med den transiella temperaturen

Den differentialekvation som styr värmeflödet i två dimensioner erhålls genom att betrakta en tvådimensionell kropp. Q är den mängd värme som levereras till kroppen per volym- och tidsenhet. Q är positiv när värme levereras till kroppen och mäts i $[\text{J/m}^3\text{s}]$. Den slutliga ekvationen som används och beskriver det transiella värmeflödet ses i ekvation C.4 (Fire Safety Design AB, 2002).

$$Q = \Delta^T q + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ekvation C.4}$$

Approximering av de finita elementen

Först separeras temperaturen $T(x, t)$ i en rumslig och tidsmässig del. Den rumsliga delen av T diskretiseras, det vill säga delas upp i intervall, med hjälp av formfunktioner som är definierade för finita element. Temperaturen T är approximerad med uttrycket i ekvation C.5.

$$T(x, t) \approx N(x)T(t) \quad \text{Ekvation C.5}$$

där N är den globala formfunktionen och T innehåller temperaturerna längs med noderna i hela kroppen. Detta kapitel innehåller en sammanfattning av en del av de komplexa beräkningarna (Fire Safety Design AB, 2002).

Randvillkor

Randvillkoren i Tempcalc genomförs med hjälp av gastemperaturen och inneslutningen som ges av rummet.

Värmeflödet av gastemperaturen med konvektion samt strålning mellan omgivande väggar och luft beskrivs av följande ekvation C.6.

$$q_{n,c} = \alpha_c(T - T_\infty) + \varepsilon_r \sigma(T^4 - T_\infty^4) \quad \text{Ekvation C.6}$$

där

$q_{n,c}$ = värmeflödet [W/m^2]

α_c = konvektiva värmeöverflödet [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

T = gastemperatur [K]

T_∞ = omgivningstemperatur [K]

ε_r = emissivitet

σ = Stefan-Boltzmann konstant [$5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ J}/\text{K}^4\text{m}^2\text{s}$]

Värmeflödet i utrymmet med luft, konvektion och strålning mellan ytor samt mellan gränsytan och omgivande luft ges av ekvation C.7.

$$q_{n,c} = \alpha_c(T_g - T_b) + \varepsilon_r \sigma(T_g^4 - T_b^4) \quad \text{Ekvation C.7}$$

där

$q_{n,c}$ = värmeflödet över den omslutande gränsen [W/m^2]

α_c = konvektiva värmeöverflödet [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

T = gastemperatur [K]

T_b = yttemperatur [K]

ε_r = emissivitet

σ = Stefan-Boltzmann konstant [$5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ J}/\text{K}^4\text{m}^2\text{s}$]

I manualen förklaras även hur diskretisering av tidsdomänen genomförs samt de elementära ekvationer i matriser som programmet använder under beräkningsgången (Fire Safety Design AB, 2002).

Bilaga D - Scriptfil

Det script som används under simuleringarna presenteras nedan. Den fetmarkerade texten är den som har ändrats till respektive simulering. Scriptet utgår från en effektutvecklingskurva som är uppbyggd efter en 3 megawatts brand i en soffa (Särdqvist, 1993).

```
// Initial fires
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

//Lokal
//Alt.1 Localised Fire (sofa)

clear;

t=[0 146 206 300 400 1000]; %

Q=[0 1000e3 2000e3 2000e3 20e3 0]; % Det är i denna del brandens
effektvecklingskurva byggs upp. "t" och "Q" ändras efter behov.

t1=[0:10:590 600 650 700:100:1000];
Q1=interp1(t,Q,t1)
t=t1;Q=Q1;

figure; hold on; grid on; plot(t,1e-6*Q,'k');
xlabel('Time [s]'); ylabel('Heat Release Rate [MW]');
Qc=0.8*Q;

D=1.0; Här ändras brandens diameter.

Lf=-1.02*D+0.0148*(Q.^(2/5));
z0=-1.02*D+0.00524*(Q.^(2/5));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

z=4,5; Här ändras avståndet mellan flammans bas och mätpunkt

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

T=20*ones(size(t))+0.25*Qc.^(2/3).*(z*ones(size(t))-z0).^(-5/3);
T=min(T,900);

figure; hold on; grid on
plot((1/3600)*t,T,'r');
plot((1/3600)*t,T,'r. ');
[(1/3600)*t' T']
```

Bilaga E - Indata simuleringar

Indata till simuleringarna i kapitel 5 presenteras nedan.

I tabell E.1 står det beskrivet vilka parametrar som ändras, mellan vilka värden samt vilka parametrar som hålls konstanta i simulering 1.1.

Tabell E. 1. Indata för simuleringarna simulering 1.1 i TCD.

	Branden (UF)	Branden (F)	Branden (F/M)	Branden (M)
Profil nr	1	1	1	1
Tillväxthastighet	0,19	0,047	0,0295	0,012
Maxeffekt	3	3	3	3
Z	2,5	2,5	2,5	2,5
Diameter	1	1	1	1

Indata för simulering 1.2 åskådliggörs i tabell E.2.

Tabell E. 2. Indata för simuleringarna simulering 1.2 i TCD.

	Branden (UF)	Branden (F)	Branden (F/M)
Profil nr	1	1	1
Tillväxthastighet	0,19	0,047	0,0295
Maxeffekt	3	3	3
Z	2,5	2,5	2,5
Diameter	1	1	1

Indata för simulering 3 åskådliggörs i tabell E.3

Tabell E. 3. Indata för simulering 3 i TCD.

Branden

Profil nr	1
Tillväxthastighet	0,047
Maxeffekt	5
z	5,5-0
Diameter	3

Indata för simulering 5 åskådliggörs i tabell E.4-5.

Tabell E. 4. Indata för simuleringarna i TCD.

Branden

Profil nr	1	1	1	1	1
Tillväxthastighet	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Maxeffekt	1	1	1	1	1
z	2	2	2	2	2
Diameter	0,5	0,7	1	1,5	2

Tabell E. 5. Indata för simuleringarna i TCD.

Branden			
Profil nr	1	1	1
Tillväxthastighet	0,047	0,047	0,047
Maxeffekt	1	1	1
Z	2	2	2
Diameter	2,5	3	3,5

Indata för simulering 6 åskådliggörs i tabell E.6-7

Tabell E. 6. Indata för simuleringarna i TCD.

Branden					
Simuleringsnr	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
Profil nr	1	1	1	1	1
Tillväxthastighet	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Maxeffekt	0,1	0,2	0,3	0,5	1
z	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Diameter	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Tabell E. 7. Indata för simuleringarna i TCD.

Branden				
Simuleringsnr	6.6	6.7	6.8	6.9
Profil nr	1	1	1	1
Tillväxthastighet	0,047	0,047	0,047	0,047
Maxeffekt	2	5	7	10
Z	1,5	1,5	1,5	1,5
Diameter	1,2	1,2	1,2	1,2

Bilaga F - Resultat simulering från exempelbyggnaden

I tabell F.2 nedan presenteras resultatet från simulering från exempelbyggnad med olika stålprofiler. Mer information om exempelbyggnaden finns i kapitel 7 och information om de olika brandförloppen kan ses i tabell F.1. Det som ska visas med tabellen är att tiden för hur länge ett brandförlopp varar är extremt viktig för den kritiska bärförmågan hos konstruktionsdelarna. I tabell F.2 presenteras först kritisk bärförmåga för en typ av profil som utsatts för ett brandförlopp med en tillväxthastighet på 0,047 kW/m² och med en tid på sin maximala effektutveckling i 3 minuter och ett totalt brandförlopp i cirka 10-15 minuter. På raden under presenteras restbärförmågan för samma profil men som har utsatts för ett brandförlopp som pågått under 30 minuter, vilket innebär längre tid på den maximala effektutvecklingen. Diameter samt avstånd mellan flammans bas och konstruktion är samma hos för respektive brandförlopp. Anledningen till att 30 minuter valdes är att det är så länge en konstruktion ska stå i en Br2-hallbyggnad enligt krav från EKS 9.

Tabell F. 1. De olika brandförloppen som har simulerats med olika varaktighet mot olika stålprofiler.

Brandförlopp	H	HRRPUA [MW/m ²]	D	Q [MW]
1	7,5	8	1,5	14
2	7,5	2	3	14
3	4	1,6	2	5,0
4	3,5	3	1	2,4
5	1	2	1	1,6

Tabell F. 2. Simuleringsresultat från TCD med olika tid.

Simulering	Kritisk bärförmåga [%]	Skillnad mellan t =30 min [procentenheter]	Lastutnyttjande grad [%]
Primärbalk brandförlopp 1			
Diagonal fackverksbalk 1	16		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	13	~3	
Diagonal fackverksbalk 2	16		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	13	~3	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	93	~7	
Underram fackverksbalk	25		52
Underram fackverksbalk 30 min	18	~7	
Sekundärbalk brandförlopp 1			
Diagonal fackverksbalk 1	13		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	10	~3	
Diagonal fackverksbalk 2	14		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	10	~4	
Diagonal fackverksbalk 3	15		70
Diagonal fackverksbalk 3 30 min	12	~3	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	86	~4	
Underram fackverksbalk	21		52
Underram fackverksbalk 30 min	16	~5	
Pelare brandförlopp 1			
Pelare	6		37
Pelare 30 min	6	~0	
Primärbalk brandförlopp 2			
Diagonal fackverksbalk 1	79		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	69	~10	

Diagonal fackverksbalk 2	79		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	69	~10	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	96	~4	
Underram fackverksbalk	100		52
Underram fackverksbalk 30 min	81	~9	
Sekundärbalk brandförlopp 2			
Diagonal fackverksbalk 1	70		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	60	~10	
Diagonal fackverksbalk 2	70		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	61	~9	
Diagonal fackverksbalk 3	75		70
Diagonal fackverksbalk 3 30 min	66	~9	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	91	~9	
Underram fackverksbalk	100		52
Underram fackverksbalk 30 min	78	~12	
Pelare brandförlopp 2			
Pelare	6		37
Pelare 30 min	6	~0	
Primärbalk brandförlopp 3			
Diagonal fackverksbalk 1	23		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	11	~12	
Diagonal fackverksbalk 2	23		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	11	~12	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	40	~60	
Underram fackverksbalk	100		52
Underram fackverksbalk 30 min	14	~86	
Sekundärbalk brandförlopp 3			
Diagonal fackverksbalk 1	14		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	10	~4	
Diagonal fackverksbalk 2	15		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	10	~5	
Diagonal fackverksbalk 3	22		70
Diagonal fackverksbalk 3 30 min	11	~11	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	30	~70	
Underram fackverksbalk	99		52
Underram fackverksbalk 30 min	13	~86	
Primärbalk brandförlopp 4			
Diagonal fackverksbalk 1	35		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	12	~23	
Diagonal fackverksbalk 2	35		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	12	~23	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	57	~43	
Underram fackverksbalk	100		52
Underram fackverksbalk 30 min	14	~86	
Sekundärbalk brandförlopp 4			
Diagonal fackverksbalk 1	20		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	11	~9	
Diagonal fackverksbalk 2	21		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	11	~10	

Diagonal fackverksbalk 3	33		70
Diagonal fackverksbalk 3 30 min	11	~22	
Överram fackverksbalk	100		52
Överram fackverksbalk 30 min	43	~57	
Underram fackverksbalk	100		52
Underram fackverksbalk 30 min	14	~86	
Pelare brandförlopp 4			
Pelare	15		37
Pelare 30 min	6	~9	
Primärbalk brandförlopp 5			
Diagonal fackverksbalk 1	10		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	6	~4	
Diagonal fackverksbalk 2	10		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	6	~4	
Överram fackverksbalk	55		52
Överram fackverksbalk 30 min	7	~48	
Underram fackverksbalk	17		52
Underram fackverksbalk 30 min	6	~11	
Sekundärbalk brandförlopp 5			
Diagonal fackverksbalk 1	7		70
Diagonal fackverksbalk 1 30 min	6	~1	
Diagonal fackverksbalk 2	7		70
Diagonal fackverksbalk 2 30 min	6	~1	
Diagonal fackverksbalk 3	10		70
Diagonal fackverksbalk 3 30 min	7	~3	
Överram fackverksbalk	40		52
Överram fackverksbalk 30 min	8	~32	
Underram fackverksbalk	10		52
Underram fackverksbalk 30 min	6	~4	
Pelare brandförlopp 5			
Pelare	16		37
Pelare 30 min	6	~10	

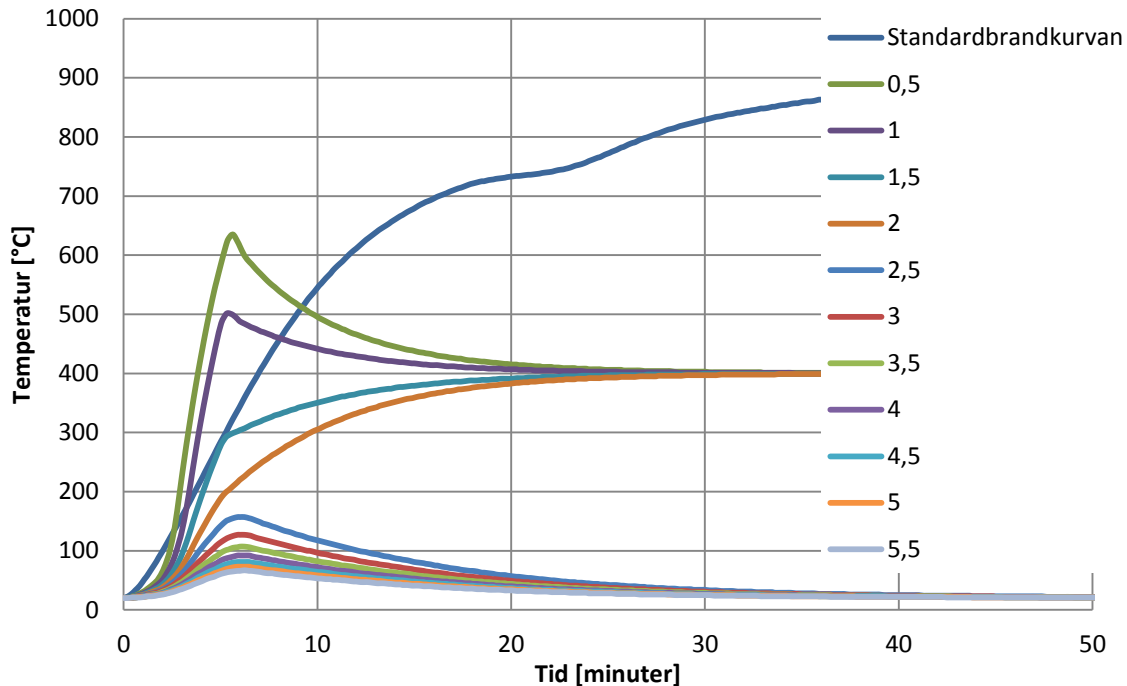
I tabell F.3 presenteras den kritiska bärförmågan efter reducering av respektive brandförlopp på grund av sprinklersystemet från exemplet med exempelbyggnaden.

Tabell F. 3. Kritisk bärförmåga efter reducering av brandförloppen på grund av sprinklersystem.

Bärverksdel samt dimension	Höjd till sprinkler [m]	Kritisk bärförmåga [%]	Lastutnyttjandegrad [%]
Primärbalk, brandförlopp 1	9		
Diagonal 90x90x5		100	70
Diagonal 2 90x90x5		100	70
Underram 120x120x6		100	52
Sekundärbalk, brandförlopp 1	9		
Diagonal 50x50x4		100	70
Diagonal 70x70x4		100	70
Diagonal 80x80x5		100	70
Underram 120x120x5		100	52
Sekundärbalk, brandförlopp 2	9		
Diagonal 50x50x4		100	70
Primärbalk, brandförlopp 3	5,5		
Diagonal 90x90x5		100	70
Diagonal 2 90x90x5		100	70
Underram 120x120x6		100	52
Sekundärbalk, brandförlopp 3	5,5		
Diagonal 50x50x4		100	70
Diagonal 70x70x4		100	70
Diagonal 80x80x5		100	70
Underram 120x120x5		100	52
Primärbalk, brandförlopp 4	5		
Diagonal 90x90x5		100	70
Diagonal 2 90x90x5		100	70
Sekundärbalk, brandförlopp 4	5		
Diagonal 50x50x4		100	70
Diagonal 70x70x4		100	70
Diagonal 80x80x5		100	70
Underram 120x120x5		100	52
Primärbalk, brandförlopp 5	2,5		
Diagonal 90x90x5		75	70
Diagonal 2 90x90x5		75	70
Underram 120x120x6		98	52
Sekundärbalk, brandförlopp 5	2,5		
Diagonal 50x50x4		52	70
Diagonal 70x70x4		55	70
Diagonal 80x80x5		72	70
Överram 120x120x6		100	52
Underram 120x120x5		86	52
Sekundärbalk, brandförlopp 5b	2,5		
Diagonal 50x50x4		91	70
Diagonal 70x70x4		91	70

Bilaga G - Parametrars samverkan på ståltemperaturen

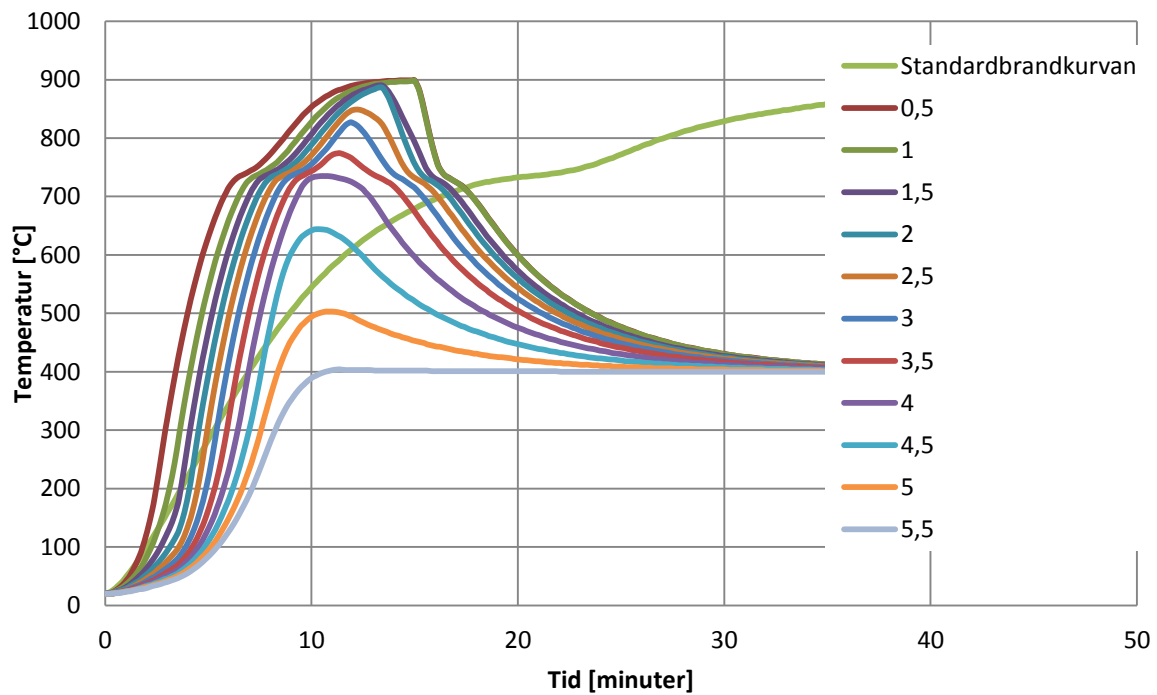
Till analysen i kapitel 6.2, samverkan mellan de olika parametrarna och deras påverkan på stålkonstruktionen, används diagram och tabeller. Dessa presenteras nedan, för analysen om z-värdet, se även simulering 3, används tabell G.1-G.2 samt figur G.1-G.2. För analysen om godstjocklek, se även simulering 7, används tabell G.3-G.4 och figur G.3-G.4. Tabell G.5 samt figur G.5 är underlag för analysen om F/A-värdet för en stålprofil, se även simulering 8.



Figur G. 1. Grafen visar simulering 3.1, z varieras 5,5 och 0,5 meter, konstant effektutveckling 2 megawatt samt konstant diameter 3 meter.

Tabell G. 1. Visar högsta uppmätta temperatur i konstruktionen samt skillnaden mellan dessa temperaturer för olika z då Q=2 megawatt.

z [m], Q=2 MW	Högsta temperatur [°C]	Skillnad i temperatur [°C]	Tid [minuter]
0,5	635	-	5,6
1	502	133	5,4
1,5	400	102	36,5
2	400	0	41,0
2,5	157	243	5,9
3	127	30	5,9
3,5	107	20	6,0
4	92	15	5,9
4,5	81	11	5,9
5	73	8	5,9
5,5	67	6	6,2



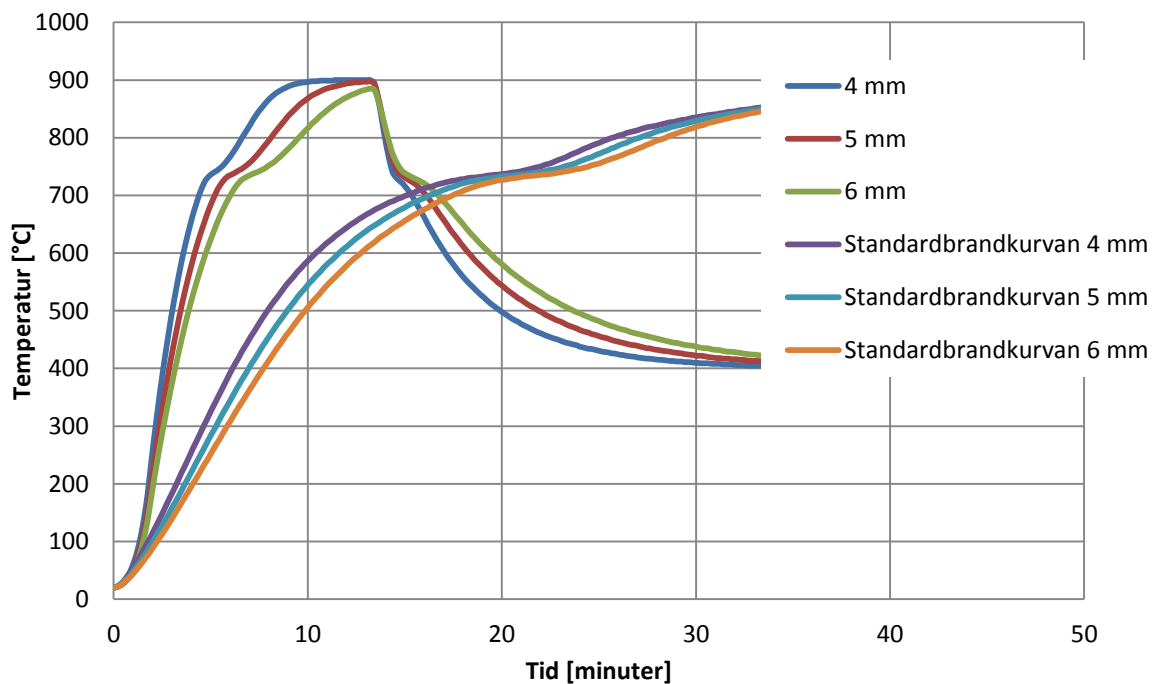
Figur G. 2. Grafen visar simulering 3.2, z varieras 5,5 och 0,5 meter, konstant effektutveckling 10 megawatt samt konstant diameter 3 meter.

Tabell G. 2. Visar högsta uppmätta temperatur i konstruktionen samt skillnaden mellan dessa temperaturer för olika z då Q=10 megawatt.

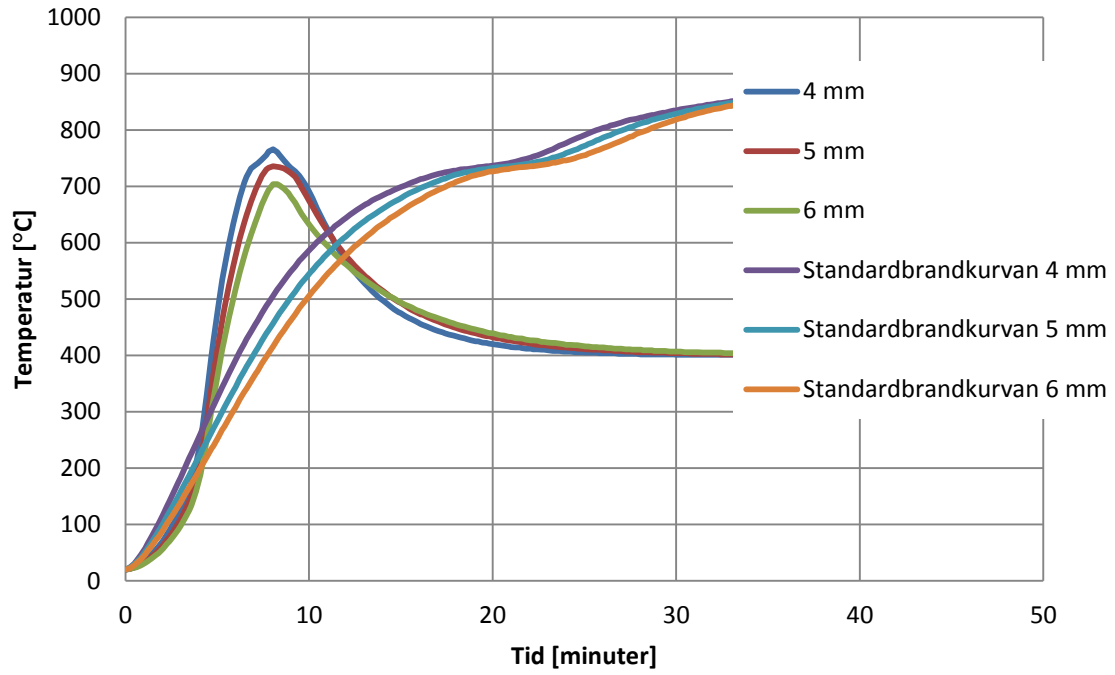
z [m], Q=10 MW	Högsta temperatur [°C]	Skillnad i temperatur [°C]	Tid [minuter]
0,5	899	1	14,3
1	898	1	14,9
1,5	890	8	13,2
2	886	4	13,2
2,5	849	37	12,2
3	827	22	11,9
3,5	774	53	11,3
4	735	39	11,3
4,5	644	91	10,7
5	503	141	10,2
5,5	404	99	10,5

Tabell G. 3. Visar högsta temperatur samt skillnaden i temperatur mellan godstjocklekarna 4, 5 och 6 millimeter.

Grundsimulering	Maximal temperatur [°C]			Skillnad temperatur
	4 mm	5 mm	6 mm	
6.6 Q=2, z=1,5, D=1,2	767	735	699	32 ; 36 ; tot 68
6.7 Q=5, z=1,5, D=1,2	896	868	818	28 ; 50 ; tot 78
6.8 Q=7, z=1,5, D=1,2	900	898	885	2 ; 13 ; tot 15
6.9 Q=10, z=1,5, D=1,2	900	900	898	0 ; 2 ; tot 2
3 Q=5, z=2,5, D=3	724	666	615	58 ; 51 ; tot 109
3 Q=5, z=2, D=3	766	736	704	30 ; 32 ; tot 62
3 Q=5, z=1, D=3	873	810	761	63 ; 49 ; tot 112
3.1 Q=2, z=2,5, D=3	179	157	141	22 ; 16 ; tot 38
3.1 Q=2, z=2, D=3	400	400	399	0 ; 1 ; tot 1
3.1 Q=2, z=1, D=3	571	502	449	69 ; 53 ; tot 122
3.2 Q=10, z=2,5, D=3	890	849	801	41 ; 48 ; tot 89
3.2 Q=10, z=2, D=3	899	886	853	13 ; 33 ; tot 46
3.2 Q=10, z=1, D=3	900	898	889	2 ; 9 ; tot 11
5.5 Q=5, z=7, D=1	245	221	203	24 ; 18 ; tot 42
5.8 Q=5, z=7, D=2	185	167	153	18 ; 14 ; tot 32



Figur G. 3. Temperaturen som funktion av tiden i en VKR-stålprofil med godstjocklek 4, 5 och 6 millimeter, Q=7 MW, z=1,5 meter och D=1,2 meter, samt standardbrandkurvas påverkan på respektive profil.



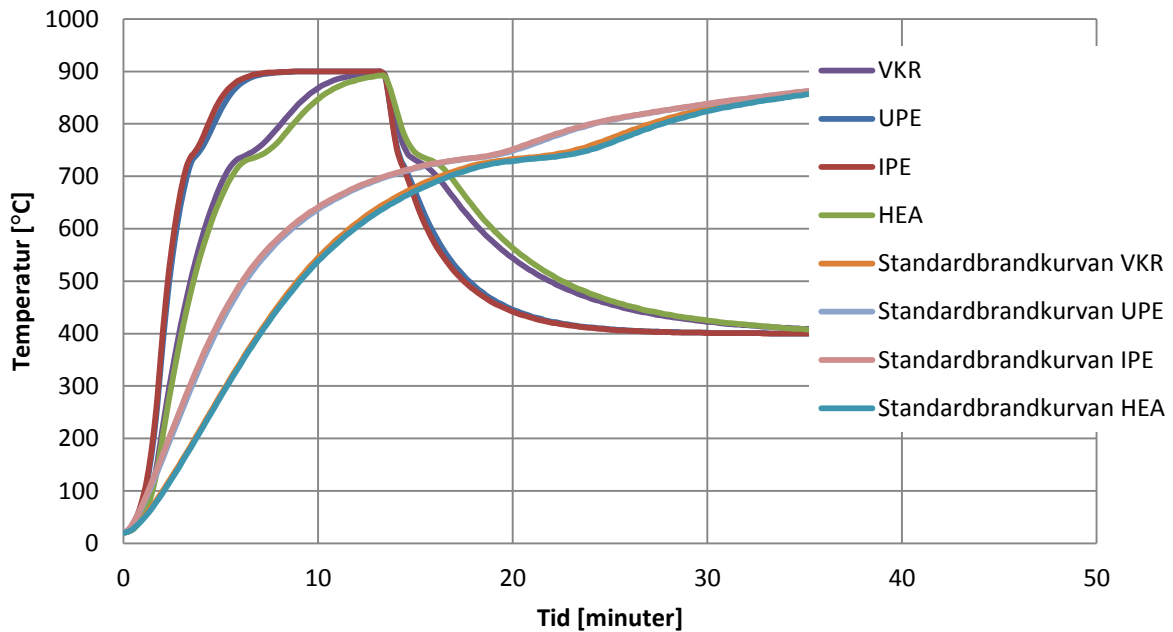
Figur G. 4. Temperaturen som funktion av tiden i en VKR-profil med godstjocklek 4, 5 och 6 millimeter, $Q=5$ MW, $z=2$ meter och $D=3$ meter, samt standardbrandkurvans påverkan på respektive profil.

Tabell G. 4. Kritisk bärförmåga med avseende på godstjocklek 4, 5 och 6 millimeter för olika effektutveckling, z och diameter.

Effektutveckling Q, z-värde, diameter D, simuleringsnummer	Godstjocklek [mm]	Kritisk bärförmåga [%], knäcklängd=1 m	Skillnad [procentenheter]
Q=2, z=1,5, D=1,2 (7.27)	4	15,0	
Q=2, z=1,5, D=1,2 (6.6)	5	18,0	3,0
Q=2, z=1,5, D=1,2 (7.28)	6	23,4	5,4
Q=5, z=1,5, D=1,2 (7.1)	4	6,3	
Q=5, z=1,5, D=1,2 (6.7)	5	7,6	1,3
Q=5, z=1,5, D=1,2 (7.3)	6	10,0	2,4
Q=7, z=1,5, D=1,2 (7.4)	4	6,1	
Q=7, z=1,5, D=1,2 (6.8)	5	6,2	0,1
Q=7, z=1,5, D=1,2 (7.6)	6	6,8	0,6
Q=10, z=1,5, D=1,2 (7.29)	4	6,0	
Q=10, z=1,5, D=1,2 (6.9)	5	6,0	0
Q=10, z=1,5, D=1,2 (7.30)	6	6,2	0,2
Q=2, z=1, D=3 (7.11)	4	55,0	
Q=2, z=1, D=3 (3.1_z1)	5	75,8	20,8
Q=2, z=1, D=3 (7.12)	6	85,2	9,4
Q=5, z=2,5, D=3 (7.35)	4	19,1	
Q=5, z=2,5, D=3 (3_z2,5)	5	29,6	10,5
Q=5, z=2,5, D=3 (7.36)	6	41,5	11,9
Q=5, z=2, D=3 (7.33)	4	14,9	
Q=5, z=2, D=3 (3_z2)	5	17,8	2,9
Q=5, z=2, D=3 (7.34)	6	21,2	3,4
Q=5, z=1, D=3 (7.31)	4	7,4	
Q=5, z=1, D=3 (3_z1)	5	10,4	3,0
Q=5, z=1, D=3 (7.32)	6	15,6	5,2
Q=10, z=2,5, D=3 (7.13)	4	6,6	
Q=10, z=2,5, D=3 (3.2_z2.5)	5	8,5	1,9
Q=10, z=2,5, D=3 (7.14)	6	10,9	2,4
Q=10, z=2, D=3 (7.15)	4	6,1	
Q=10, z=2, D=3 (3.2_z2)	5	6,7	0,6
Q=10, z=2, D=3 (7.16)	6	8,4	1,7
Q=10, z=1, D=3 (7.17)	4	6,0	
Q=10, z=1, D=3 (3.2_z1)	5	6,2	0,2
Q=10, z=1, D=3 (7.18)	6	6,6	0,4

Tabell G. 5. Visar kritisk bärförmåga för olika profiler och olika effektutvecklingar.

Effektutv/Profil	UPE	IPE	HEA	VKR
2 MW	7,54	7,49	18,89	17,98
5 MW	6,04	6,06	8,08	7,62
7 MW	6,05	6,06	6,31	6,17
10 MW	6,05	6,06	6,04	6,05



Figur G. 5. Temperatur som funktion av tiden för olika stålprofiler med $Q=7$ MW, $z=1,5$ meter och $D=1,2$, samt standardbrandkurvans påverkan på respektive profil.

Bilaga H - Indata Regressionsanalys

Skriptet som användes till simuleringarna i TCD för att ta fram de olika ståltemperaturerna för olika kombinationer av de ingående parametrarna, se tabell H. 1., hade varaktigheten 30 minuter. Brandförloppet byggdes upp med en tillväxthastighet på $0,047 \text{ kW/s}^2$ till den maximala effektutvecklingen var nådd sedan hölls brandförloppet konstant på denna nivå tills 30 minuter hade passerat, se exempel på script nedan.

```
" clear;
t=[0 46 517 717 1350 1800];
Q=[0 100e3 12566e3 12566e3 12566e3 12566e3];
t1=[0:10:590 600 650 700:100:1800];
Q1=interp1(t,Q,t1)
t=t1;Q=Q1;

figure; hold on; grid on; plot(t,1e-6*Q,'k');
xlabel('Time [s]'); ylabel('Heat Release Rate [MW]');

Qc=0.8*Q;
D=4.0;
Lf=-1.02*D+0.0148*(Q.^(2/5));
z0=-1.02*D+0.00524*(Q.^(2/5));

z=5.0;

T=20*ones(size(t))+0.25*Qc.^(2/3).*(z*ones(size(t))-z0).^(-5/3);
T=min(T,900);
figure; hold on; grid on
plot((1/3600)*t,T,'r');
plot((1/3600)*t,T,'r. ');

[(1/3600)*t' T'] "
```

Tabell H. 1. En del av de olika kombinationerna av de olika parametrarna som regressionsanalysen baserades på.

HRRPUA [MW/m ²]	D [m]	z [m]	GT [mm]	Tmax [°C]
1	1	5	4	153
2	1	5	4	262
4	1	5	4	490

I nedanstående tabeller presenteras utdata från regressionsanalys 1. De fetmarkerade rubrikerna är de som använts som underlag i diskussionen kring de olika parametrars påverkan på den maximala temperaturen inuti konstruktionen.

Regressionsanalys:

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,924
R-kvadrat	0,854
Justerad R-kvadrat	0,849
Standardfel	122,059
Observationer	144

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>KvS</i>	<i>MKv</i>	<i>F</i>	<i>p-värde för F</i>
Regression	4	12073631	3018408	203	0
Residual	139	2070864	14898		
Totalt	143	14144495			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Övre 95%</i>
Konstant	409,7	65,2	6,3	0,0	280,7	538,7
HRRPUA	110,1	9,1	12,1	0,0	92,2	128,0
D	150,3	8,8	17,0	0,0	132,9	167,8
z	-76,4	4,0	-19,2	0,0	-84,3	-68,5
GT	-0,2	9,1	0,0	1,0	-18,2	17,8

Regressionsanalys med logaritmerade värden:**Regression**

UTDATASAMMANFATTNING

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,94
R-kvadrat	0,89
Justerad R-kvadrat	0,89
Standardfel	0,27
Observationer	144,00

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>KvS</i>	<i>MKv</i>	<i>F</i>	<i>p-värde för F</i>
Regression	4	80,0	20,0	281,6	0,0
Residual	139	9,9	0,1		
Totalt	143	89,9			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Övre 95%</i>
onstant	6,95	0,20	33,99	0,00	6,54	7,35
HRRPUA	0,60	0,04	14,35	0,00	0,52	0,69
D	0,84	0,04	20,05	0,00	0,76	0,93
z	-1,10	0,05	-22,01	0,00	-1,20	-1,00
GT	-0,01	0,11	-0,05	0,96	-0,22	0,21

Som kan avläsas från utdata ovan är att ståltemperaturen är helt oberoende av godstjockleken, GT, när tiden som stålet tillåts värmas upp är 30 minuter. Det kan även avläsas att z samt D är de två förklarande variabler som påverkar stålkonstruktionen mest vid en variation av respektive variabel.

Bilaga I - Aktiveringstider för sprinkler

För att beräkna aktiveringstider för sprinkler används programmet DETector ACTuation-Quasi Steady (DETECT QS). De indata programmet behöver är RTI-värde, avstånd från flammans bas till tak, radiellt avstånd från flammans centrumlinje till sprinkler samt en aktiveringstemperatur för sprinklern. Det radiella avståndet väljs konservativt, det vill säga att brandens centrumlinje är placera mitt emellan två sprinklerhuvuden. Följande antaganden och begränsningar finns i DETECT QS:

- Innertaket är plant och horisontellt utan hinder som påverkar brandgasernas utbredning.
- Ingen transporttid för de varma gaserna beaktas, från källan till taket.
- Endast konvektiv värmeutbredning.
- Ingen hänsyn tas till ledningsförluster och strålningsvärme.
- Underskattar temperaturer vid låga innertak och korta radiella avstånd.
- Kvasistationär förenkling av ekvationer.

Programmet bör dessutom inte användas i små rum om ett gaslager hinner byggas upp innan aktivering. En ytterligare osäkerhet är att programmet ger bättre resultat då höga RTI-värden väljs (Martinez de Aragón, Rey, & Chica, 2003).

Sprinkleraktivering

Sprinklerbulberna i den fiktiva byggnaden är av typen quick response med ett RTI-värde runt 50 och har en aktiveringstemperatur på 68 °C. Aktiveringstiderna för en sprinklerbulb i de olika brandscenarierna visas i tabell I.1.

Tabell I. 1. Aktiveringstiderna för en sprinklerbulb i de olika brandförloppen.

Brandförlopp	Aktiveringstid [min]	Effektutveckling vid aktivering [MW]
1	3,5	2,2
2	3,5	2,2
3	2,0	0,9
4	2,5	1
5	1,5	0,4

Bilaga J - Exempelbyggnaden

I bilaga J presenteras en överblick över exempelbyggnaden, X som används för att analysera flödesschemat, se figur J.2.

Följande butiker kan tänkas vara hyresgäster.

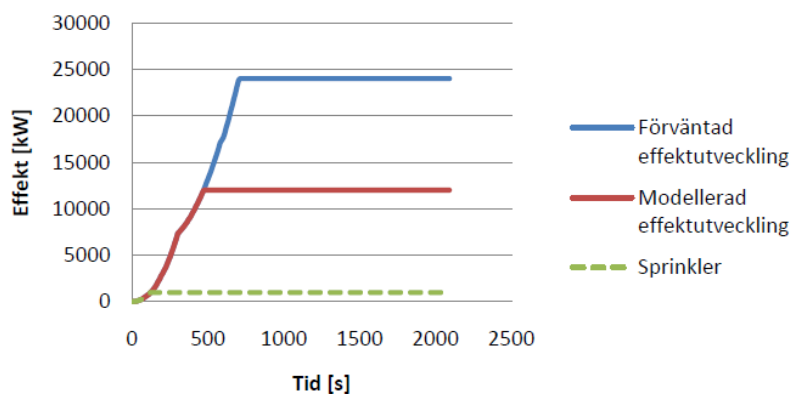
- Biltema/mekonomen - Detaljhandel
- Skobutiker – läder, plast
- Burger King (utgör troligtvis inte enda verksamheten i en så stor hall)
- Ikea, Sova-butik täcke, kuddar gardiner – möbler
- Elgiganten och liknande - Teknik
- Systembolag

Matbutik

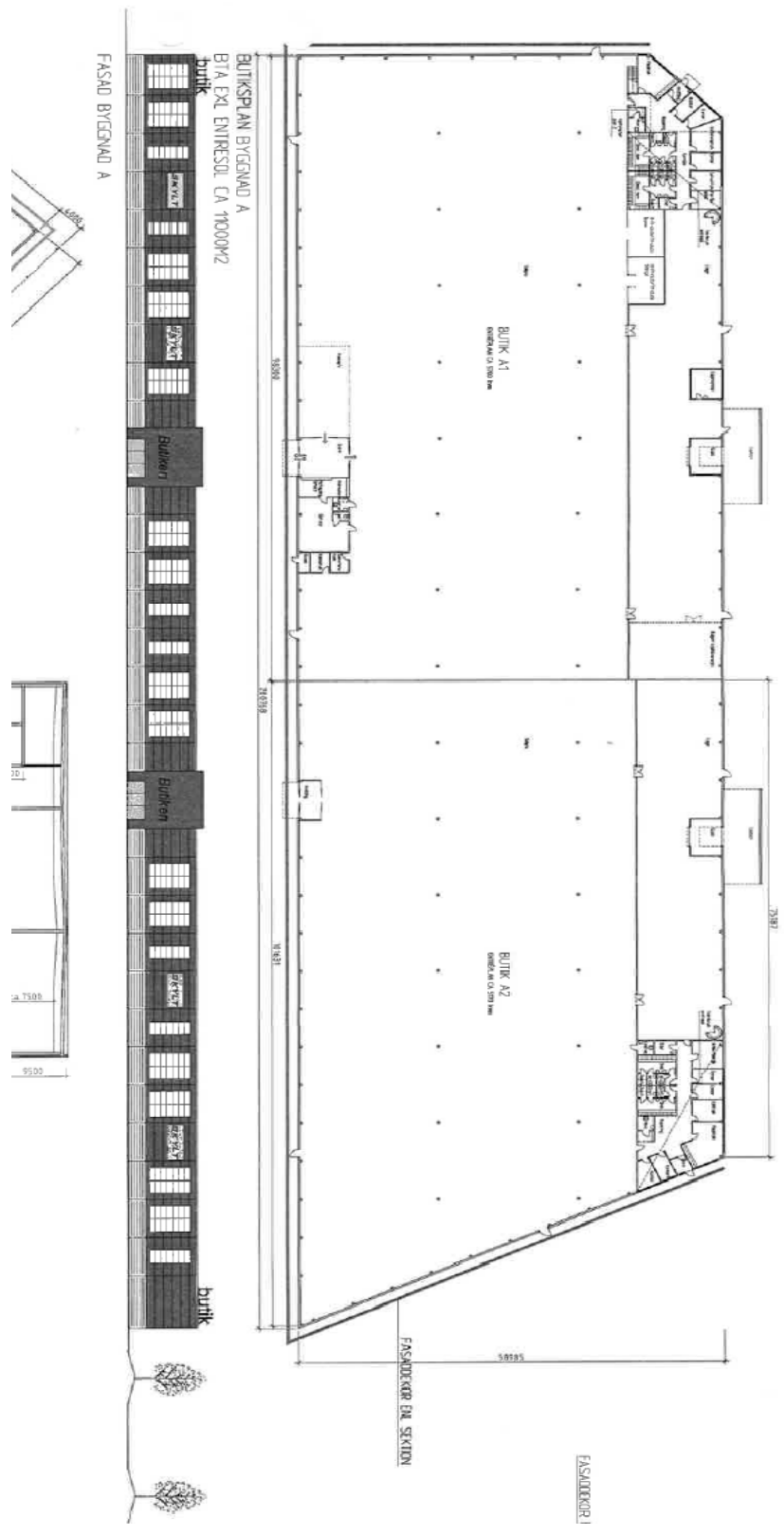
En brand i en chipshylla tillväxer snabbt och får en slutlig maxeffekt på 6 megawatt.

Undersökningar visar också att det kan bli uppemot 1000 °C på tre minuter vid en brand i en chipshylla (Hägg & Lindqvist, Finita element analys av en brandutsatt fackverksbalk i stål, 2007).

Tillväxthastigheten för chips är, $\alpha = 0,054 \text{ kW/s}^2$ i figur J.1 nedan.



Figur J. 1. Effektutvecklingskurva för en chipshylla (Frindberg, Lantz, Lidell, & Mattsson, 2011).



Figur J. 2. Ritning av exempelbyggnaden.

Bilaga K - Regressionsanalys kortare varaktighet

Författarna vill dessutom undersöka hur konsultens val av brandens parametrar samt val av godstjocklek, GT, hos konstruktionen under en kortare tid påverkar den maximala ståltemperaturen. För att ta fram ståltemperaturen för respektive observation hålls brandförloppet konstant på sin maximala effektutveckling i 200 sekunder. Varaktigheten på maximal effektutveckling bestäms med stöd i framtagna effektutvecklingskurvor för olika typer av material från exempelvis *Initial Fires*, (Särdqvist,1993). Sett till ett lokalt brandförlopp är det inte särskilt troligt att detta påverkar samma konstruktionsdel under 30 minuter vilket det gjorde i regressionsanalysen i kapitel 6.1, för vidare diskussion kring varaktigheten, se kapitel 9.

Mellan vilka värden regressionsanalysen gäller kan avläsas i tabell K.1 med samma motivering som i kapitel 6.1

Tabell K. 1. Giltighetsspann för regressionsanalysen.

Förklarande variabel	Enhet	Giltighetsspann
Effektutveckling per areaenhet (HRRPUA)	MW/m ²	0,2 – 10
Diameter (D)	m	1 – 5
Avstånd mellan flammans bas och tak (z)	m	1 – 10
Godstjocklek (GT)	mm	4-7

I tabell K.2 kan korrelationen mellan de olika parametrarna avläsas.

Tabell K. 2. Korrelation mellan brandens samt stålets parametrar.

	HRRPUA	D	z	GT
D	-0,02			
Z	-0,02	-0,01		
GT	-0,01	-0,00	-0,02	
T	0,33	0,60	-0,45	-0,06

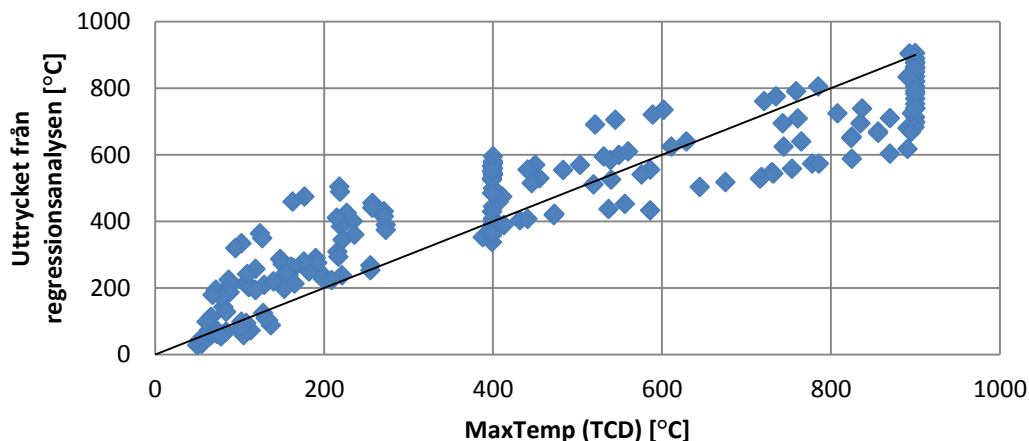
Ekvation K.1 togs fram med hjälp av den allmänna formeln: $y=k + a*x_1 + b*x_2 \dots + n*x_n$ och utdata från Excel, tabell K.4 som presenteras nedan.

$$T_{max} = 244 + (144 * HRRPUA) + (164 * D) - (70 * z) - (15 * GT) \quad \text{Ekvation K.1}$$

Det som kan utläsas från ekvation K.1 är att diametern är den förklarande variabel som har störst påverkan på undersökningsvariabeln. Det som också kan utläsas är att godstjockleken, GT, inte påverkar alls så mycket som övriga parametrar.

Enligt regressionsanalysen blev p-värdet 0 för samtliga förklarande variabler, utom för godstjockleken, varför resultatet från regressionsanalysen anses vara statistiskt signifikant. Den justerade determinationskoefficienten, R², blev 0,82 vilket innebär att 82 procent av ändringarna i temperaturen kan förklaras av ändringar av de förklarande variablerna.

På samma sätt som tidigare plottas den beräknade maxtemperaturen i TCD mot uttrycket som gavs i regressionsanalysen för att kontrollera hur dessa plottar stämmer överrens med en rät linje, se figur K.1.



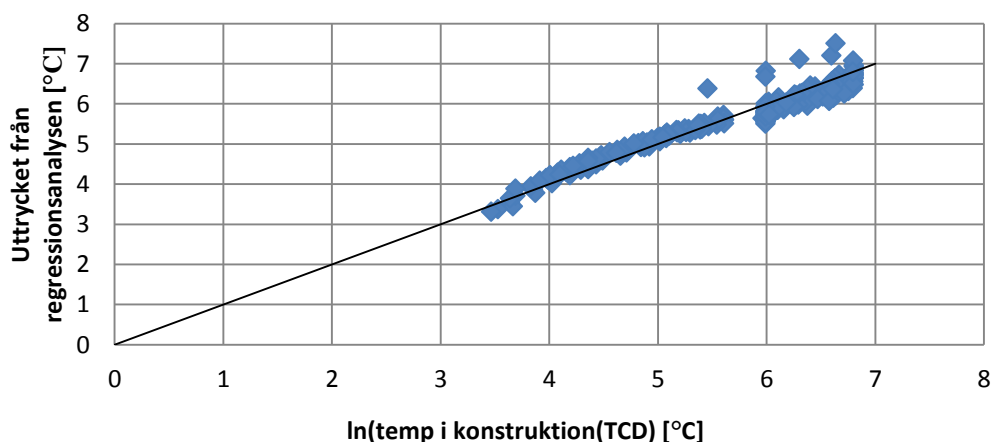
Figur K. 1. De olika punkterna för undersökningsvariabeln T plottade mot uttrycket som getts av den linjära regressionsanalysen.

Punkterna följer en rät linje ganska bra men det finns dock lite antydning till en negativ exponentiell lutning, varför samma sak som i den första regressionsanalysen genomförs även här. Samtliga värden för samtliga variabler logaritmeras och en ny regressionsanalys genomförs för att sedan i sin tur ta fram ett uttryck för beroendet mellan temperatur och HRRPUA, z, D och GT. Nedan följer uttrycket, ekvation K.2, som togs fram med regressionsanalysen:

$$T_{max} = e^{7,6} * HRRPUA^{0,82} * D^{1,3} * z^{-1,5} * GT^{-0,4} \quad \text{Ekvation K.2}$$

Det exponentiella uttrycket ovan visar nästan samma sak som uttrycket som gavs i kapitel 6.1. Vilket antyder att varaktigheten spelar mindre roll för hur de olika parametrarna förhåller sig till varandra. P-värdet blev noll för samtliga variabler vilket innebär att resultatet är statistiskt signifikant.

Den nya plotten av simulerad temperatur i TCD mot uttrycket av temperaturen som ges i regressionsanalysen visas i figur K.2. Determinationskoefficienten är nu 92 procent.



Figur K. 2. De olika punkterna för undersökningsvariabeln ln(T) plottade mot uttrycket som getts av regressionsanalysen.

Regressionsanalysen börjar med att en rad observationer, minst 10 olika per variabel skrivs in i kolumner i Excel, se exempel i tabell K.3 nedan.

Tabell K. 3. Exempel på hur de olika värdena på respektive variabel skrivs in.

HRRPUA [kW/m ²]	D [m]	z [m]	T [°C]
1,2	1	5	255
2,0	1	5	400

Regressionsanalys

I nedanstående tabeller presenteras utdata från regressionsanalysen. De fetmarkerade rubrikerna är de som använts som underlag i diskussionen kring hur brandens respektive stålets parametrar påverkar den maximala temperaturen inuti konstruktionen.

Tabell K.4. Exempel på hur de olika värdena på respektive variabel skrivs in.
UTDATASAMMANFATTNING

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,908
R-kvadrat	0,824
Justerad R-kvadrat	0,821
Standardfel	128,089
Observationer	208

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>KvS</i>	<i>Mkv</i>	<i>F</i>	<i>p-värde för F</i>
Regression	4	15000000	3900000	238	0,000
Residual	203	3300000	16407		
Totalt	207	19000000			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Övre 95%</i>
Konstant	243,6	62,7	3,9	0,000	120	367
HRRPUA	143,5	8,1	17,7	0,000	128	160
D	165,4	6,8	24,4	0,000	152	179
H	-69,9	4,6	-15,1	0,000	-79	-61
GT	-14,9	7,9	-1,9	0,062	-31	0,77

$$\text{Temperaturen} = 243,6 + 143,5 * \text{HRRPUA} + 165,4 * \text{D} - 69,9 * \text{H} - 14,9 * \text{GT}$$

Regressionsanalys med logaritmerade värden:

Tabell K.5. Exempel på hur de olika värdena på respektive variabel skrivs in.
UTDATASAMMANFATTNING

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel-R	0,961
R-kvadrat	0,923
Justerad R-kvadrat	0,921
Standardfel	0,272
Observationer	208

ANOVA

	<i>fg</i>	<i>KvS</i>	<i>MKv</i>	<i>F</i>	<i>p-värde för F</i>
Regression	4	179,4	44,8	606	0,000
Residual	203	15,0	0,07		
Totalt	207	194,4			

	<i>Koefficienter</i>	<i>Standardfel</i>	<i>t-kvot</i>	<i>p-värde</i>	<i>Nedre 95%</i>	<i>Övre 95%</i>
Konstant	7,57	0,21	36,1	0,00	7,154	7,980
ln(HRRPUA)	0,82	0,03	24,4	0,00	0,757	0,891
ln(D)	1,33	0,03	39,6	0,00	1,266	1,399
ln(H)	-1,51	0,07	-21,6	0,00	-1,651	-1,370
GT	-0,40	0,09	-4,4	0,00	-0,578	-0,222

$$\ln(T)=7,567+0,824*\ln(HRRPUA)+1,333*\ln(D)-1,51*\ln(H)-0,4*\ln(GT)$$

$$T=e^{7,6+HRRPUA^{0,82}+D^{1,3}+H^{-1,5}+GT^{-0,4}}$$