



LUND UNIVERSITY

Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten

Sammanfattande slutrapport

Johansson, Nils

2019

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Johansson, N. (2019). *Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten: Sammanfattande slutrapport.* (LUTVDG/TVBB; Nr. 3223). Lund University.

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten

Nils Johansson

Avdelningen för Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Rapport 3223, Lund 2019

Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten
Sammanfattande slutrapport

Nils Johansson

Lund 2019

Titel: Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten

Författare: Nils Johansson

Rapport 3223

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--3223--SE

Antal sidor: 30

Illustrationer: Nils Johansson

Sökord: Räddningstjänst, brandteori, branddynamik, modellering

Keywords: Fire Service, fire science, fire dynamics, modelling

Abstract:

There are great opportunities to use fire science-based models in fire service activities. However, it is necessary to apply and evaluate such models in a fire service context. This report summarises a project where the aim has been to investigate how fire dynamics is used and can be used to support fire service in preventative, investigative and operational activities. In general, there is room for improving the use of fire dynamics in all studied areas of fire service activities. The principal way forward is a stronger connection between theory and practice. This is mainly done through education, for example with practical exercises in connection to theoretical sessions.

© Copyright: Avdelningen för Brandteknik
Lund 2019.

Avdelningen för 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

Division 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

Förord

Denna rapport utgör en sammanfattning och slutrapportering av projektet ”Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten”. Projektet har finansierats av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap i form av ett post-doktoralt stöd. De publikationer och aktiviteter som genomförts inom ramen för projektet finns listade i Bilaga A.

I projektet har intervjuer och enkäter besvarats av personer som jobbar på eller med svenska räddningstjänster. Jag vill därför rikta ett stort tack till de som deltagit i intervjuerna och enkäter för deras medverkan i projektet. Jag vill också rikta ett tack till Stefan Svensson, MSB, Stefan Särqvist, MSB, Patrick van Hees, LTH och Håkan Frantzich, LTH som har bistått med kommentarer och stöd under projektets gång.

Lund, januari 2019.

Nils Johansson

Sammanfattning

På många svenska räddningstjänster finns brandingenjörer som i sin grundutbildning erhåller en gedigen kunskap inom brandteori. Även utbildningar för andra grupper inom räddningstjänstområdet innehåller brandteori, inte minst utbildningen *Skydd mot Olyckor*. Att goda teoretiska kunskaper inom brandförlopp är viktigt inom räddningstjänsten syns även internationellt där kopplingen mellan teori och praktik lyfts fram i olika sammanhang.

Modeller baserade på brandteori kan bl.a. användas vid insatsplanering, brandutredningar och i det förebyggande arbetet på räddningstjänsten. För att göra detta krävs det dock att nya modeller utvecklas och redan tillgängliga modeller appliceras på och utvärderas för räddningstjänstens verksamhet. I föreliggande rapport sammanfattas ett projekt där syftet har varit att undersökas hur teorier kring brandförlopp och branddynamik används och kan användas av räddningstjänsten i det förebyggande arbetet; i det operativa arbetet; och vid brandutredningar. Utgångspunkten i projektet har varit befintliga modeller och teorier, men viss modellutveckling har också utförts.

Projektet har bestått av flera delar. I den inledande identifieringsdelen har en litteraturgenomgång och en intervjustudie genomförts för att kartlägga hur brandteori används inom svenska räddningstjänster. Dessa visade att brandteori oftare tillämpas inom förebyggande och utredningar än inom räddningstjänstens operativa område. De främsta orsakerna till detta är att tidsperspektivet är kortare i det operativa skedet och att det finns etablerade taktik och tumregler som fungerar bra för de flesta fall. Det finns emellertid potential att använda teorier kring branddynamik mer inom det operativa området när det gäller händelser som har längre varaktighet och förekommer mindre frekvent än t.ex. lägenhetsbränder.

Efter identifieringsdelen av projektet genomfördes en inventeringsdel där en kartläggning av den befintliga brandteorin och möjligheten att använda den praktiskt inom räddningstjänsten granskades. Teorin kring rumsbränder är tämligen väl befäst och det finns mycket litteratur och utbildningsmaterial på området, dessutom är mycket praktiskt utbildning liksom övningar riktade mot rumsbranden. Av dessa anledningar anses den teoretiska förståelsen på området vara mycket god. Några analytiska uttryck för beräkningar av brand i stora lokaler liksom för brand i konstruktioner finns dock inte. Dessa bränder är i regel mer komplexa än rumsbranden och kan också utvecklas på en rad olika sätt, vilket gör det svårare att utarbeta användbara tumregler baserat på brandteori. Exempelvis kommer förhållandena i en stor lokal sannolikt att bli icke-homogena (t.ex. kan temperaturen i brandgaslagret variera stort) vilket gör situationen mer komplex än i rumsbranden. När det gäller praktiska verktyg för att bekämpa konstruktionsbränder så förefaller det som att värmekameran används flitigt på svenska räddningstjänster, och även mer och mer som ett generellt verktyg för att ge ett underlag till taktikval eller uppföljning av släckinsatser vid brand i byggnad.

Slutligen genomfördes en utvecklings- och tillämpningsdel i projektet. Utvecklingsarbetet har bestått i att en s.k. multi-zonmodell studerats och vidareutvecklats. Baserat på den utvärdering som gjorts av modellen så kan det konstateras att den kan utgöra ett värdefullt komplement till de befintliga modellerna, ytterligare arbete är dock nödvändigt innan den kan användas i praktiken. När det gäller tillämpning, så har ett utbildningsmaterial för användning av brandteori inom brandutredningar tagits fram.

I allmänhet finns utrymme för förbättring av användningen av brandteori inom alla de, i projektet, studerade områdena inom räddningstjänsten. Den främsta vägen framåt anses vara en starkare koppling mellan teori och praktik. Detta sker främst genom utbildning, t.ex. genom att praktiska övningar sker i samband med teoretiska genomgångar av brandteori.

Summary

There are fire safety engineers working at most Swedish fire services, and these engineers acquire a solid knowledge in fire dynamics during their education. The education of other groups within the fire service also includes classes in fire dynamics, like the Swedish two-year education for fire fighters. The fact that good theoretical knowledge in fire science is important for fire service activities is evident internationally, where the link between theory and practice is highlighted in different contexts.

Models based on fire science can be used in intervention planning, fire investigations and in the preventive work at the fire services. This report summarises a project where the aim has been to investigate how fire dynamics is used to support fire service in preventative, investigative and operational activities. Existing models and theories have been the starting point of the project; however, some model development has also been carried out.

The project has involved several phases. In the initial identification phase, a literature review and an interview study have been carried out to map how fire dynamic theories are used in Swedish fire services. It revealed that fire dynamics is more often applied in the preventative and investigative area than in operational activities. The main reason for this is that the time-frame, in general, is shorter in operational activities and that there already are established tactics and rules of thumb that work well for most fire incidents. However, there is still a potential to use fire dynamics theories more within the operational area, especially in regard to events that have longer duration and occur less frequently than e.g. apartment fires.

After the identification phase, an inventorial phase was carried out. Existing fire dynamics theories and the possibility to apply them within the fire service were assessed. The theory regarding compartment fires is fairly well established and there is a lot of literature and educational material in the area; furthermore, the fire services often conduct practical training aimed at this type of fires. The general understanding in that area is therefore considered to be good. However, there are no analytical expressions for calculations regarding fires in large enclosures or in structural elements. These fires are generally more complex than the compartment fire, making it more difficult to develop useful rules of thumb based on fire dynamics. For example, the conditions in a large enclosure are likely to be non-uniform (e.g. the temperature in the hot gas layer varies), which makes the situation more complex than in the compartment fire, where uniform conditions often can be assumed. When it comes to practical tools for tackling fires in structural element, it seems that thermal cameras are widely used in the Swedish fire services. However, thermal cameras are also used more and more to scan buildings in order to get tactical support or to follow-up on the effects of different extinguishing efforts.

In the final phase of the project a so-called multi-zone model was evaluated and improved. Based on the evaluation, it is concluded that the method can be a valuable complement to existing models; however, further work is necessary before it can be used in practice. The phase also included the development of educational material related to the use of fire dynamics in fire investigations.

In general, there is room for improving the use of fire dynamics in all studied areas of fire service activities. The principal way forward is considered to be a stronger connection between theory and practice. This is mainly done through education, e.g. with practical exercises in connection to theoretical sessions on fire dynamics.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Beskrivning av projektet	3
2	Olika typer av bränder i byggnader	4
3	Identifiering.....	6
3.1	Litteraturgenomgång och intervjuer.....	6
3.2	Översiktlig studie av brandutredningar	7
3.3	Slutsats av identifieringsarbete	8
4	Inventering	10
4.1	Tre exempel på hur brandteori kan användas inom räddningstjänsten	10
4.2	Modeller för rumsbränder.....	12
4.3	Modeller för stora utrymmen.....	12
4.4	Modeller för konstruktionsbränder	13
4.5	Slutsats av inventeringsarbete.....	14
5	Utveckling och tillämpning.....	16
5.1	Utveckling av modell för stora utrymmen.....	16
5.2	Utbildningsmaterial kopplat till brandutredning.....	17
5.3	Slutsats av utvecklings- och tillämpningsarbete	18
6	Tankar kring fortsatt arbete.....	19
6.1	Utbildning och applicering.....	19
6.2	Modellutveckling.....	19
7	Referenser	20
	Bilaga A – Publikationer och övriga aktiviteter i projektet.....	23

1 Introduktion

En bakgrundsbeskrivning till projektet och föreliggande rapport ges i detta kapitel. I bilaga A finns även en lista på samtliga publikationer och aktiviteter som ingått i projektet.

1.1 Bakgrund

Det finns flera exempel på bränder i byggnader där räddningstjänsten inte kunnat få kontroll på situationen i ett tidigt skede, och detta har i många fall resulterat i stora brandskador. Ofta har det varit på grund av snabba brandförlopp och/eller felaktiga beslut av räddningsledningen [1,2]. I flera fall skulle en bättre koppling till teori kring hur bränder utvecklas i byggnader och branddynamik kunnat resultera i andra beslut som medfört mindre omfattande egendomsskador.

Det finns en mängd olika ingenjörsmässiga verktyg och modeller som används vid brandteknisk dimensionering av byggnader i byggprocessen [3,4]. Det finns en uppenbar potential att använda denna typ av verktyg även inom räddningstjänsten. Exempelvis för att under en räddningsinsats förutsäga hur en brand kan utvecklas och på så sätt använda lämpliga åtgärder vid rätt tid, eller som ett verktyg vid planeringen av insatser i befintliga och nya byggnader, något som bland annat Särdaqvist [5] tidigare studerat. Även i samband med utredning av bränder finns det en stor potential att använda ingenjörsmässiga modeller. Baserat på uppgifter från vittnen och spår efter branden kan sådana verktyg användas för att skapa en bild av brandförloppet för att t.ex. kunna analysera risken för brandspridning eller räddningstjänstens insats.

På de flesta svenska räddningstjänster finns det brandingenjörer som i sin utbildning använder olika typer av ingenjörsmässiga verktyg och modeller. I Sverige sker utbildning av brandingenjörer på två lärosäten, *Luleå Tekniska Universitet* (LTU) och *Lunds Tekniska Högskola* (LTH) och årligen examineras det runt 70 brandingenjörer i landet. Ungefär en tredjedel av dessa genomgår även MSB:s påbyggnadsutbildning för brandingenjörer (RUB) som senare ofta leder till ett yrke vid kommunens organisation för räddningstjänst. Svenska brandingenjörer anses generellt ha ett bra teoretiskt kunnande om branddynamik och brandförlopp i byggnader. Ett bevis på detta och den höga kvalitén i utbildningarna är att svenska brandingenjörer är eftertraktade både nationellt och internationellt [6]. Även utbildning på området för andra grupper inom räddningstjänsten har stärkts de senaste åren, inte minst med etableringen av utbildningen *Skydd mot Olyckor* (SMO). Att goda teoretiska kunskaper inom brandförlopp är viktigt inom räddningstjänsten syns även internationellt där kopplingen mellan teori och praktik numera lyfts fram i olika sammanhang. Ett sådant exempel är konceptet ”Fire Dynamics Training” [7] som bl.a. *Ottawa Fire Service* koordinerat.

Brandingenjörsutbildningarna och SMO har medfört att utbildningsgraden måste anses som hög vid svenska räddningstjänster. De goda teoretiska kunskaperna kanske dock inte alltid utnyttjas till den grad som är möjligt. I en analys och utvärdering av MSB:s utbildning med avseende på brand- och byggnadstekniskt brandskydd [8], konstateras det att kunskap om brandförlopp och de faktorer som påverkar bränders utveckling är centrala i MSB:s utbildningar. För kurserna högre upp i utbildningssystemet (Räddningsledning B och RUB) krävs kunskap om brandförlopp och branddynamik för att kunna göra bedömningar i samband med komplexa räddningsinsatser. Enligt Svensson [8] bör utgångspunkten för brandingenjörer i räddningstjänsten vara det ingenjörsmässiga perspektivet som baseras på kunskaper från högskolan. I den nyligen genomföra räddningstjänstutredningen [9] har frågan kring utbildning av räddningschef och räddningsledare lyfts, och utredaren föreslår att MSB ska se över denna del av utbildningssystemet. Utbildningsfrågan är alltså, nu februari 2019, i hög grad aktuell.

Ett konkret exempel på hur kunskap om brandteori kan användas av räddningstjänsten är det vid LTH utvecklade verktyget "Tunnel Fire Tools" [10]. Verktyget bygger på branddynamiska samband framtagna vid SP Fire Research [11], och det är tänkt att fungera som ett stöd för beslutsfattare på räddningstjänsten vid planering av räddningsinsatser i väg- och järnvägstunnlar. Verktyget kan även användas under en pågående händelse. För att göra det krävs det att brandens storlek (effektutveckling) uppskattas, vilket kan vara en utmaning men det är något som brandingenjörer är utbildade för att kunna göra. Effektutvecklingen har stor betydelse för den potentiella skadan av en brand och om den inte bestäms med en viss noggrannhet kommer beräkningsverktyg inte ge några värdefulla resultat. Ett sätt att utifrån en pågående händelse bestämma effektutvecklingen är att använda s.k. *invers fire modelling* [12]. *Invers fire modelling* innebär att konsekvenser från branden tolkas och ingenjörsmässiga modeller används för att räkna baklänges och på så sätt uppskatta t.ex. effektutvecklingen.

Ett relaterat område är att, baserat på löpande mätningar och uppskattningar av branden, använda datormodeller för att förutsäga det kommande brandförloppet i en byggnad. Prognosen vid en s.k. *fire forecast* kan uppdateras regelbundet med nya data från t.ex. en värmekamera eller sensorer i byggnaden [13]. Uppdateringar görs även då situationen förändras t.ex. då en dörr öppnas eller fönsterglas går sönder. Bland annat Rengel et al [14] har visat att *fire forecasting* kan användas med både avancerade och enkla modeller, och att experimentella data kan predikteras tämligen bra. Merci [15] argumenterar för att *fire forecasting* är ett område med potential och som kommer utnyttjas mer och mer samband med att datorkraft och modeller utvecklas. För skogsbränder kan ett liknande tankesätt användas [16], då används information om t.ex. vindhastighet och vegetation för att skapa en prognos av brandförloppet och brandspridningshastigheten. En prognos som sedan kan ligga till grund för taktiska inriktningar av räddningsinsatser.

En utmaning med att göra prognoser för bränder i byggnader är tillgängligheten till enkla, bra och tidseffektiva modeller. Sådana modeller behövs eftersom förloppen är betydligt kortare vid bränder i byggnader än när det gäller skogsbränder. Tidskalan för räddningsinsatser vid brand i byggnad kan dock variera och beror mycket på hur byggnaden och brandförloppet ser ut. Vid lägenhetsbränder kan det handla om en halvtimme medan det i större byggnader kan vara fråga om dygn.

De exempel som lyfts fram kring *fire forecasting* ovan [12-15] gäller främst för lägenhetsbränder, men behoven och möjligheten av att använda modeller för att prognostisera brandförloppet vid bränder konstruktioner och i större lokaler utrymmen bedöms vara mer relevant. Detta eftersom dessa bränder är komplexa och inte alltid är överblickbara på samma sätt som lägenhetsbränder. Problematiken har t.ex. belysts i s.k. multifunktionella byggnader [17] vilka ofta är komplexa och svåröverblickbara. I denna typ av byggnader kan det därför finnas en fördel med att använda ingenjörsmässiga modeller som ett stöd vid t.ex. insatsplanering och i det operativa skedet. Möjligheterna att använda brandteori ökar också när tidskalan är längre, vilket den kan vara i större och mer komplexa byggnader.

För att motivera en större användning av brandteori inom räddningstjänsten krävs det sannolikt en utveckling på flera områden. Nya modeller kan behöva utvecklas och tillgängliga verktyg och modeller behöver appliceras rent praktiskt och sedan utvärderas. Kunskap om branddynamiken i rumsbränder bedöms vara god hos räddningstjänsten men när det gäller bränder i stora utrymmen och i konstruktioner finns det en stor utvecklingspotential. Svensson [8] poängterar att kunskapen om bränder i konstruktioner inom svensk räddningstjänst baseras framförallt på erfarenheter och inte på teori eftersom modeller för spridning av brand och brandgaser i konstruktioner saknas. Ett liknande resonemang kan appliceras på bränder i stora utrymmen där utbudet av ingenjörsmässiga modeller och den teoretiska kunskapen är begränsad.

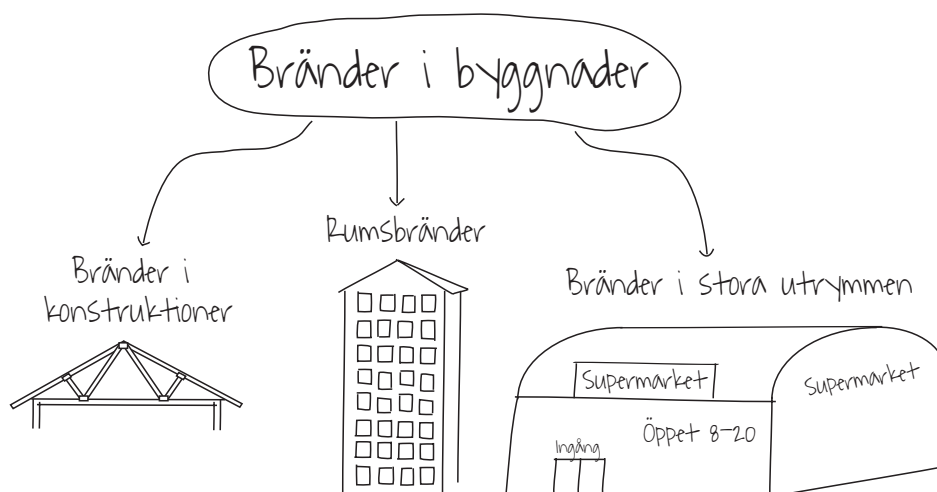
1.2 Beskrivning av projektet

Mot bakgrund av den problembeskrivning som ges i avsnitt 1.1 har MSB, med ett post-doktoralt stöd, finansierat föreliggande projekt. Syftet med projektet har varit att undersökas hur teorier kring brandförlopp och branddynamik kan användas av räddningstjänsten i det förebyggande arbetet (för att planera insatser), i det operativa arbetet (för att skapa prognoser vid insatser) och vid brandutredning (för att få en bild av brandförloppet). Projektet är avgränsat till brand i byggnad och utgångspunkten i projektet har varit befintliga modeller och teorier, dock har även en viss modellutveckling genomförts. Bränder i stora utrymmen och i konstruktioner (se vidare i kapitel 2) har varit i fokus i projektet.

Projektet har pågått under två års tid och resulterat i ett antal publikationer, presentation och utbildningsmaterial, dessa är listade i bilaga A. Denna rapport sammanfattar de publikationer som genomförts inom ramen för projektet.

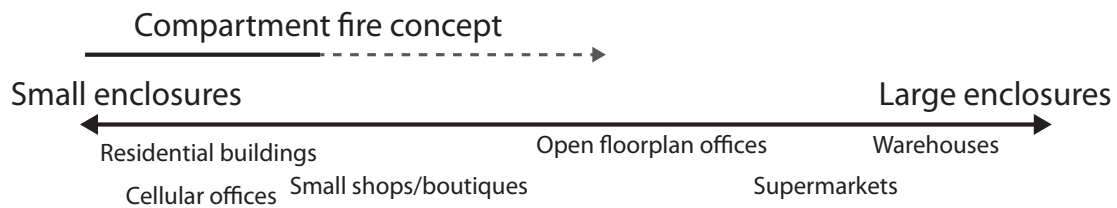
2 Olika typer av bränder i byggnader

Bränder i byggnader kan grovt delas upp i tre kategorier baserat på hur brandförloppet karaktär (se Figur 1). Bränder i små och medelstora rum är de bränder som normalt brukar kallas rumsbränder (eng. *compartment fires*). Rumsbränder startar i regel i lös inredning och sprids till flera föremål i rummet. Rumsbranden kan involvera ett eller flera rum. Teorin och branddynamiken när det gäller rumsbranden är tämligen väl utforskad och beskriven [3,13]. Teorier kring rumsbranden är även centrala vid utbildning och utformning av svenska räddningstjänster, där praktiska övningar ofta sker mot rumsbrandsscenario i t.ex. en container. En andra kategori är bränder i stora utrymmen (eng. *fires in large enclosures*). I stora utrymmen (t.ex. stora lager, stormarknader) kan en del av utrymmet vara kraftigt involverat i branden medan en annan del är tämligen opåverkad. I denna typ av lokaler sker inte övertändning på samma sätt som vid rumsbränder. Bränder i stora utrymmen har fått viss uppmärksamhet de senaste åren [14] men få ingenjörsmässiga modeller finns tillgängliga. Den sista kategorin är bränder i konstruktioner eller s.k. konstruktionsbränder (eng. *fires in structural elements*). Det finns ingen väletablerad definition för dessa bränder. I ett tidigare projekt [1] har de dock beskrivits som bränder i dolda utrymmen i byggnadskonstruktionen (t.ex. i en krypvind eller i en ventilationsspalt), och som ofta har en begränsad tillgång till ventilation. En annan typ av bränder som också kan kategoriseras som konstruktionsbränder är bränder i och på fasader. Det pågår en del forskningsinsatser kring bränder i konstruktioner men, precis som för bränder i stora utrymmen, finns det inte några generella ingenjörsmässiga modeller, likt de som finns för rumsbranden, tillgängliga.



Figur 1: Grov uppdelning av bränder i byggnader baserat på hur brandförloppet kan kännetecknas.

Det går i regel inte att dra en strikt skiljelinje mellan de olika kategorierna i Figur 1, t.ex. kan en brand på en vind behandlas som en rumsbrand om vinden är åtkomlig och har någorlunda hög takhöjd, medan en brand på en mindre vind kan vara svåråtkomlig och kanske därför hamnar i kategorin bränder i konstruktioner. Ett annat exempel är vart skiljelinjen ska dras mellan en rumsbrand och en brand i ett stort utrymme, denna är givetvis flytande och det finns få etablerade och relevanta kriterier för när det är det ena eller andra (se Figur 2). De olika kategorierna kan även förekomma samtidigt vid en brand, exempelvis kan en brand som startat i en lägenhet spridas till ett dolt utrymme (t.ex. en utfackningsvägg), genom värmeledning eller sprickor i väggen, och då även bli en konstruktionsbrand [1].



Figur 2: Skalan mellan rumsbränder och bränder i stora utrymmen är flytande.

Att branddynamiken och tidskalan skiljer sig åt mellan de olika kategorierna av bränder innebär även att utformningen av räddningsinsatsen kan skilja sig åt för dessa olika bränder. Svenska räddningstjänster anses i regel vara bra dimensionerade och utbildade för att hantera traditionella rumsbränder som t.ex. lägenhetsbrand. Kunskapen om brandteori rörande rumsbränder och speciellt förloppet från antändning via övertändning till en fullt utvecklad brand anses därför vara väl etablerad hos brandmän och brandbefäl.

3 Identifiering

En identifiering av de behov som finns av att använda branddynamik inom svensk räddningstjänst har genomförts i projektet. Denna identifiering består av följande tre delar:

- Litteraturgenomgång.
- Interjuver med brandingenjörer och utbildare på området.
- Översiktlig studie av brandutredningar.

Litteraturgenomgången och intervjuerna har presenterats i en vetenskaplig artikel [18], och en sammanfattning av artikeln ges nedan. Den översiktliga studien av brandutredningar är inte publicerad men redogörs för nedan.

3.1 Litteraturgenomgång och intervjuer

En systematisk genomgång av litteratur genomfördes för att sammanfatta den relevanta forskningslitteraturen med avseende på hur brandteori används inom räddningstjänsten. Mer specifikt var avsikten att hitta publikationer där brandteori använts för att förbättra, stödja eller utvärdera räddningstjänsten. Litteraturgenomgången genomfördes i följande fyra steg:

1. Specifikation av nyckelord och val av databaser.
2. Screening och urval av publikationer baserade på abstrakt.
3. Screening och urval av publikationer baserade på genomläsning av hela publikationen.
4. Granskning av utvalda publikationer.

Två databaser (*Web of Science* och *Scopus*) och 20 olika kombinationer av sökord användes. Detta gav totalt 168 unika träffar och dessa reducerades till 55 efter genomläsning av abstrakt och till 20 efter genomläsning av hela publikationen. En lista på samtliga publikationer som granskades i steg 4 finns i den vetenskapliga artikeln [18]. De 20 publikationer granskades sedan utifrån hur användning av brandteori använts för att förbättra, stödja eller utvärdera räddningstjänsten med avseende på arbete inom förebyggande, operativt och utredningsarbete.

Utifrån litteraturgenomgången är det tydligt att majoriteten av arbetet är inriktat på räddningstjänstens operativa uppgifter, och de flesta av dessa publikationer handlar om att förbättra och planera den operativa verksamheten. Exempelvis betonas användningen av modellering som ett användbart verktyg för att uppskatta effektiviteten av olika brandbekämpningsmetoder, eftersom det är ett bra komplement till träning och de erfarenheter som erhålls från insatser. Ett par publikationer tog upp prognostisering av brandförlopp (eng. *fire forecasting*). Det beskrivs dock att ytterligare forskningsinsatser och mjukvaruutveckling är nödvändig innan det kan vara praktiskt användbart. En viktig aspekt är att operatören och beslutsfattaren bör veta hur sådana stödsystem fungerar och förstå den underliggande brandteorin, annars kan ett sådant system fungera som en ”svart låda” och missuppfattningar eller fel kan inträffa.

Intervjustudien genomfördes med personer som arbetar i räddningstjänsten eller i nära relation till räddningstjänsten i Sverige. Intervjustudien kompletterade litteraturgenomgången, med syftet med att få insikt inom följande tre områden:

1. Nuvarande användning av branddynamik inom svensk räddningstjänst.
2. Potential och behov av att använda branddynamik inom räddningstjänsten.
3. Statusen av den nuvarande utbildningen i branddynamik i relation till verksamheten på räddningstjänsten.

För att få en god insikt på området ansågs det att respondenterna skulle ha en god förståelse av teori kring brandutveckling och branddynamik. Intervjupersonerna som valdes ut var därför främst brandingenjörer. Elva intervjuer genomfördes med totalt 14 personer som representerade totalt tio organisationer. Intervjuerna varade mellan 1 till 2 timmar och samtliga transkriberades för att kunna analyseras i efterhand.

Generellt sätt hade intervjupersonerna något svårt att tydligt berätta hur man använder sig av sina kunskaper om brandteori i arbetet, men det beskrevs ofta att det är något man har med sig och som finns i bakhuvudet. Det är ytterst sällan som någon använde beräkningar i sitt arbete, och generellt sätt så såg man små möjligheter att använda brandteori, i form av beräkningar, i det operativa skedet eftersom tiden där är knapp. Flera påtalade dock att det kan finnas en större potential att göra det i det förebyggande arbetet och i utredningar. Generellt sätt så ser man också ett större behov att använda denna kunskap vid mer komplicerade händelser eller s.k. sällan händelser där man inte har så mycket praktisk erfarenhet. Många av respondenterna ser också ett behov av ytterligare utbildning eller uppfräschning av sina kunskaper. Flera intervjupersoner nämnde att det finns väldigt begränsade möjligheter för vidareutbildning på området. Det som man gärna hade sett är en bättre koppling mellan teorin med praktiska exempel i både grundutbildning och i eventuell vidareutbildning.

Att en majoritet av publikationerna är fokuserade på räddningstjänstens operativa arbete, medan respondenterna ser den största potentialen av att använda brandteori i det förebyggande och utredande arbetet är lite av en motsägelse. Denna skillnad kan bero på att forskningen inom förebyggande räddningstjänst och utredningar kopplat till användning av brandteori är begränsad eller åtminstone inte rapporterad i den typ av källor som ingick i litteraturstudien. En annan anledning kan vara att branddynamik inte har ansetts vara ett tillräckligt värdefullt verktyg i det operativa arbetet eftersom erfarenhet från tidigare händelser ofta är tillräcklig för att ta itu med de flesta bränder.

Flera av intervjupersonerna hävdade att det inte finns tid eller resurser att göra detaljerade beräkningar eller prognoser i det operativa skedet. För att skapa mer tid så kan utveckling och användningen av sensorer och andra tekniska hjälpmedel som tillhandahåller en tillförlitlig prognostisering möjligen motiveras. Det förutsätter dock att användningen av dem blir lönsam och inte tar tid från övriga uppgifter på brandplatsen. Baserat på intervjuerna och litteraturgenomgången kan det dock konstateras att ytterligare utveckling på området är nödvändig innan det kan bli praktiskt användbart att använda beräkningar för prognostisering i någon större utsträckning på brandplats.

Ett par av respondenterna i intervjustudien nämnde att det kan finnas en skillnad i kunskapsnivå mellan brandkonsulter och räddningstjänsten när det gäller brandmodellering i byggprocessen. Det bör dock poängteras att räddningstjänstpersonalen i allmänhet har mer praktisk erfarenhet av bränder och kan således granska brandskyddet från en mer praktisk vinkel jämfört med brandkonsulterna. Med detta kan räddningstjänsten kompensera för sin kanske något mer begränsade förståelse, jämfört med brandkonsulterna, för analytisk brandtekniskdimensionering av byggnader.

3.2 Översiktlig studie av brandutredningar

Samtliga brandutredningar för brand i byggnad under åren 2013-2015 som är publicerade som kommunala olycksundersökningar på MSB:s hemsida (ca 260 stycken) [19] har gått igenom i projektet för att undersöka hur kvalitativa och kvantitativa bedömningar baserat på branddynamik använts i utredningarna. Även relevanta utredningar från *Statens Haverikommission* (SHK) har studerats. Detta arbete har inte rapporterats i någon tidigare publikation. Resultatet presenteras översiktligt här.

För samtliga kommunala olycksutredningar för brand i byggnad som studerades gjordes en bedömning ifall brandteori på något sätt använts av utredaren. Om så var fallet kategoriserades bedömningen som kvalitativ eller kvantitativ. I tre stycken av totalt ca 260 utredningar (ca 1%)

användes någon typ av beräkning eller kvantitativ uppskattning i utredningen. I det första fallet handlade det om en överslagsberäkning av strålning från en brand för att visa på att ett längre avstånd till tomtgräns kunde hindrat brandspridning [20]. I det andra fallet gjordes en överslagsberäkning av tryck i ett trapphus för att se om räddningstjänsten insats påverkat brandgasspridningen [21]. I det tredje fallet gjordes en brandtest i samband med brandutredningen där mätning och analys av temperatur genomfördes [22].

När det gäller om en kvalitativ bedömning genomfördes eller ej är det betydligt svårare att bedöma och det styrs givetvis också av vilken inriktning som utredningen har. Men i ca 40 % av utredningar har en beskrivning av brandförlopp eller brandrelaterade fenomen gjorts. För övriga utredningar har det i flera fall kanske inte varit aktuellt att göra en bedömning baserat på brandteori eftersom det t.ex. inte varit till gagn för utredningens syfte att beskriva brandförloppet.

Utredningarna från SHK [23-27] har erhållits genom att söka på myndighetens hemsida efter bränder i byggnader utreda av myndigheten. De utredningar som studerats presenteras i Tabell 1.

Tabell 1: Beskrivning av studerade utredningar från SHK.

Utredning	Användning av brandteori	
	Kvalitativt	Kvantitativt
Brand på Textes HVB-hem i Norrtälje, Stockholms län	Ja	Ja
Lägenhetsbrand, Kuddbygränd 12, Rinkeby	Ja	Ja
Brand i Hotell Borgholm, Borgholm Öland	Ja	Ja
Diskoteksbranden på Herkulesgatan i Göteborg	Ja	Ja
Brand i kårhuset Rabalder, Borås	Ja	Nej

Som illustrerat i Tabell 1 förekom någon typ bedömningar med hjälp av branddynamik i samtliga utredningar och detta skedde kvalitativt i samtliga och kvantitativt i fyra av fem utredningar. I de fyra utredningar där en kvantitativ bedömning gjorts så har det genomförts med hjälp av avancerade datorprogram vilket har inneburit att uppskattning av t.ex. brandeffekter utifrån brandplatsundersökning varit nödvändiga. En större grupp av personer har deltagit i dessa utredningar och i många fall förekommer titlar som ”brandtekniskexpert”, ”expert brandförlopp” och ”brandingenjör” i utredningsgruppen.

Enbart en översiktlig studie av utredningsrapporter är genomförd här, men det är uppenbart att resurserna som finns till SHK:s förfogande är betydligt större än för de kommunala olycksutredningarna. Utan att göra någon värdering av skillnader i omfattning av utredningarna, så anses det rimligt att mer allvarliga och omfattande händelser (som SHK generellt utreder) också bör genomgå en mer detaljerad och resurskrävande utredning. Det anses dock inte vara en förklaring till att kvantitativa analyser sällan förekommer i kommunala olycksutredningar av brand i byggnad, eftersom denna typ av analyser kan vara enkla att genomföra samtidigt som de kan ge tydliga argument för eller emot ett visst skeende eller slutsats.

3.3 Slutsats av identifieringsarbete

I intervjustudien och litteraturgenomgången framgår det att brandteori används mer inom förebyggande och utredningar än inom räddningstjänstens operativa område. De främsta orsakerna

till detta är att tidsperspektivet är kortare i det operativa skedet och att det finns etablerade taktik och tumregler som fungerar bra för det flest fall. Det finns emellertid potential att använda teorier kring branddynamik mer inom det operativa, speciellt när det gäller händelser som har längre varaktighet och förekommer mindre frekvent än t.ex. lägenhetsbränder. I allmänhet finns utrymme för förbättring av användningen av brandteori inom räddningstjänsten och en väg framåt kan vara en starkare koppling mellan teori och praktik i olika utbildningssituationer.

Tabell 2: Den nuvarande användningen, potentialen och behovet, samt nuvarande teoretisk förståelse av branddynamik inom räddningstjänsten. Fyra olika nivåer används i tabellen för att illustrera statusen av brandteori i olika delar av räddningstjänsten.

	Förebyggande	Operativt	Utredningar
Nuvarande användning	Begränsad	Start begränsad	Begränsad
Potential och behov	Mycket bra	Bra	Mycket bra
Nuvarande teoretisk förståelse	Bra	Begränsad	Bra

Tabell 2 kan sammanfattas med att brandteori för brand i byggnad används främst inom det förebyggande området och vid utredningar. Den främsta orsaken till detta är att tidsramarna i allmänhet är längre inom dessa områden än på det operativa området. När det gäller operativt arbete finns det dessutom ofta etablerade förfarande och taktik, som är erfarenhetsbaserad och som fungerar bra för de flesta situationer (särskilt rumsbränder). Dock anses potentialen i att använda brandteori i de tre studerade områdena inom räddningstjänsten (andra raden i Tabell 2) större än den nuvarande användningen. Potentialen bedöms vara högre när det gäller förebyggande och utredningar än när det gäller operativt arbete, detta är främst på grund av de större möjligheterna att använda brandteori med tanke på längre tidsramar. Det finns emellertid potential inom det operativa området och speciellt med avseende på händelser som uppträder mindre frekvent och pågår under en längre tid än en normal lägenhetsbrand, det kan t.ex. vara bränder i komplexa byggnader. Det innebär att användningen av brandteori inom räddningstjänsten kan öka och en väg framåt kan vara en starkare länk mellan teori och praktik. Den möjliga potentialen är generellt högre än den aktuella teoretiska statusen (andra och tredje raden i Tabell 2). Detta innebär att det finns incitament att öka den aktuella teoretiska kunskapen genom ytterligare forskning om branddynamik i byggnader. Det är sedan viktigt att teori kopplas till praktik för att tydligt visa på hur räddningstjänsten kan dra nytta av goda kunskaper inom brandteori.

Att den nuvarande användningen av kvantitativa bedömningar baserat på brandteori är begränsad inom räddningstjänsten illustreras av studien av brandutredningar. I de få fall där kvantitativa bedömningar används i de studerade utredningarna har det gjorts för att underbygga eller stärka en argumentation, och bedömningen är att det kunde gjorts i fler av de studerade brandutredningarna.

4 Inventering

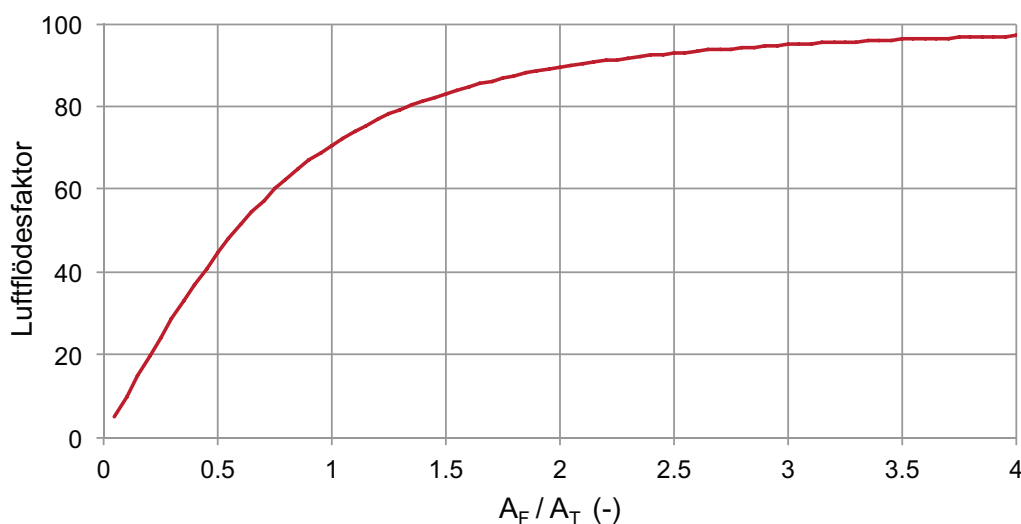
Det finns flera olika enkla analytiska modeller kopplade till brand i byggnad, och som anses vara möjliga att använda inom räddningstjänsten. I avsnitt 4.1 ges exempel på modeller som har presenterats i litteratur kopplad till räddningstjänst, och som är anpassade till räddningstjänstområdet. Det finns dock betydligt mer brandteori som potentiellt kan användas inom räddningstjänsten. En översiktlig beskrivning av denna teori, uppdelade efter de olika typer av bränder som presenterades i Figur 1, redogörs för i avsnitt 4.2-4.4.

4.1 Tre exempel på hur brandteori kan användas inom räddningstjänsten

Identifieringsstudien (kapitel 3) framkommer det att forskningsbaserad kunskap kopplat till brandteori sällan används inom räddningstjänsten. Det finns dock flera exempel på områden där teoretisk kunskap om branddynamik kan stödja och förbättra arbetet inom räddningstjänsten. En kortfattad beskrivning av tre sådana områden ges i detta avsnitt, samtliga möjliga att använda inom förebyggande, operativt och utredandearbete, även om de kanske traditionellt sett är ämnade för att planera operativt arbete.

Ett första exempel är övertycksventilation (PPV), vilket av många anses vara en fördelaktig taktik i små och medelstora byggnader [28]. Användningen av PPV har studerats i stor utsträckning både experimentellt och teoretiskt, och rekommendationer och handböcker om användning av PPV för att begränsa eller kontrollera spridningen av brand och brandgaser i byggnader har tagits fram [29,30]. Vid användning av PPV kan en term som kallas luftflödesfaktorn användas för att bestämma nödvändig storlek på en frånluftsöppning för effektiv övertycksventilation [30]. Luftflödesfaktorn ges av frånluftsarean i en byggnad (A_T) och tilluftsarean (A_F), se Ekvation 1. Den s.k. luftflödeseffektiviteten ökar när A_T/A_F -förhållandet ökar, när förhållandet överstiger 2 kommer effektiviteten att vara mer än 90 %, se Figur 3.

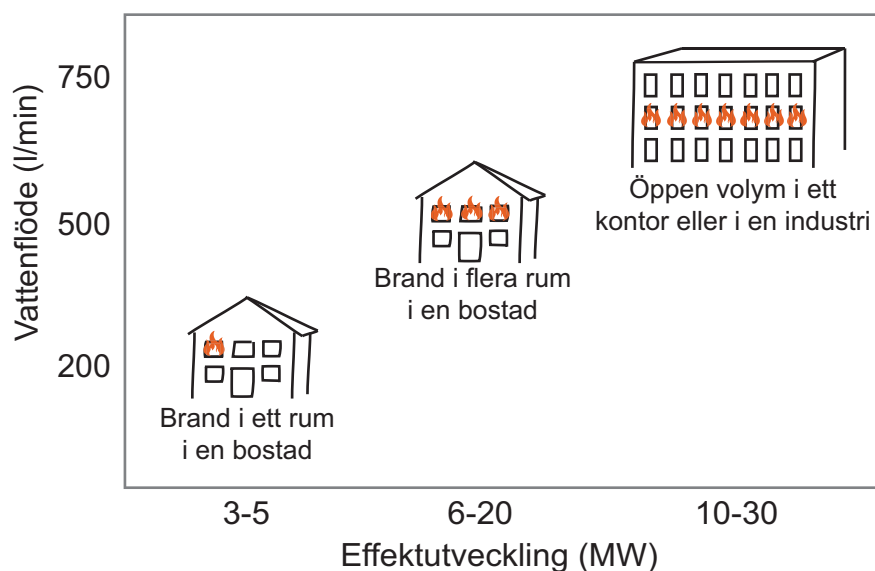
$$\text{Luftflödes faktor} = \frac{A_F/A_T}{\sqrt{1+(A_F/A_T)^2}} \quad \text{Ekvation 1}$$



Figur 3: Förhållande mellan A_T/A_F och luftflödesfaktorn.

Det andra exemplet på hur brandteori kan användas inom räddningstjänsten är kopplat till brandvatten. Det förekommer ibland en uppfattning om att åtgången av brandvatten är kopplad till brandbelastning, men det är snarare brandens utbredning, dvs. effektutveckling som är relevant [31], se Figur 4. Den maximala effektutvecklingen i en rumsbrand (Q_{max}) beror på öppningarnas storlek och kan beräknas med Ekvation 2. Där A_o är öppningarnas totala yta och H_o är den viktade höjden på öppningarna. Det vattenflöde som behövs för att släcka en brand inom rimlig tid varierar mellan olika verksamheter och utrymmets storlek. Det finns emellertid några tumregler som kan tillämpas. Barnett [32] uppskattar nödvändigt flöde av brandvatten till 0,38 l/(s MW) och Grimwood ger ett liknade värde på 0,41 l/(s MW) [28]. Effektutvecklingen i ett rum med en öppen dörr (1×2 m²) kan beräknas till 4,3 MW med Ekvation 2. Detta innebär att ett flöde på ca 1,7 l/s (102 l/min) skulle krävas för att släcka denna rumsbrand, och det betyder också att ett strålrör (som normalt ger 300 l/min) kan vara tillräckligt för att släcka branden. Denna typ av beräkning, baserat på brandteori, kan alltså användas som en del av underlaget vid insatsplanering eller dimensionering av räddningstjänst.

$$\dot{Q}_{max} = 1.518A_o\sqrt{H_o} \quad \text{Ekvation 2}$$



Figur 4: Schematisk beskrivning av förhållande mellan effektutveckling och påföringshastighet av brandvatten för att släcka en brand.

Det tredje och sista exemplet är kopplat till brandspridning genom termisk strålning. Strålning från en flamma som slår ut genom ett fönster mot en annan byggnad kan beräknas med enkla överslagsberäkningar, se t.ex. Ekvation 3. I Ekvation 3 har flaman en temperatur, T_f och den approximeras till en cirkel med diameter, D . Avståndet till den angränsande byggnaden är R . Om höjden på flaman används som värdet på D kommer beräkning sannolikt vara konservativ eftersom D då troligen överskattas.

$$\dot{q}'' = \varepsilon\sigma T_f^4 \frac{D^2}{4R^2 + D^2} \quad \text{Ekvation 3}$$

I Ekvation 3 ε är emissiviteten och σ är Stefan-Boltzmanns konstant, 5.67×10^{-11} kW/m²K⁴. Om emissiviteten antas vara 1 och flamtemperaturen 1200 K ger det följande förenklade form av Ekvation 3, där \dot{q}'' ges i kW/m².

$$\dot{q}'' = 120 \cdot \frac{D^2}{4R^2 + D^2} \quad \text{Ekvation 4}$$

Kritisk infallande strålning på trä kan ansättas till 12 kW/m² då en pilotlåga finns närvarande [34]. Om denna strålning sätts in i Ekvation 4 och D löses ut så innebär så går det att få fram att en 2,7 m krävs för att antända en fasad som är 4 m bort. Det finns givetvis fler och mer avancerade metoder

för att räkna på termisk strålning [4, 34], men Ekvation 3 är en enkel metod som inte kräver mycket mer än ett papper och en penna. Denna typ av beräkning kan definitivt användas för att argumentera för eller mot risk för brandspridning och som underlag för t.ex. ett spridningsutlåtande från räddningstjänsten.

4.2 Modeller för rumsbränder

Rumsbränder är en typ av bränder i byggnader som tas upp i kapitel 2 (se Figur 2). En genomgång av modeller för rumsbränder har gjorts inom ramen för projektet [35]. Fokus för detta arbete är analytiska modeller för att beräkna gas temperatur.

Det har länge varit känt att temperaturen i ett brandrum kommer att vara tämligen homogen pga. av den turbulens och omblandning som branden skapar. Innan övertändning består rummet av två olika gas zoner (ett brandgaslager och under det en svalare zon) och efter övertändning av en zon. Rummet kan dock inte vara hur stort som helst, och det finns vissa riktlinjer för när detta antagande gäller. Den horisontella temperaturprofilen i rummet kan inte längre antas vara konstant när förhållandet mellan utrymmets djup (L) och höjd (H) är högt. Detta innebär att giltigheten i antagandet om homogen gastemperatur (dvs. zon-modellen) minskar med ökad rumsstorlek. Sådana begränsningar har beskrivits i ISO 13390 [36] (se Tabell 3) och liknade gränsvärden ges i ISO 13447 [37].

Tabell 3: Acceptabla förhållande mellan rummets längd (L), bredd (W) and höjd (H).

Acceptabelt värde	Efter särskilt övervägande
$L/W \leq 3$	$3 < L/W < 5$
$L/H \leq 3$	$3 < L/H < 6$

I artikeln [35] utvärderas totalt fyra modeller för att beräkna gastemperaturen i brandrummet och närliggande rum. En aspekt som tas upp och som inte undersökts mycket tidigare är hur dessa tämligen enkla handberäkningsmetoder kan användas för att studera tidsberoendeförlopp, d.v.s. då förhållande (t.ex. effektutveckling) ändras över tid. Modellerna är framförallt framtagna för konstanta förhållande men tidsberoendeförlopp är givetvis intressanta när det kommer till praktisk tillämpbarhet för räddningstjänsten. Någon djupare redogörelse för de studerade modellerna ges inte här. Istället hänvisas läsaren till artikeln [35].

Data från två småskaliga brandtekniska försök används i artikeln för att utvärdera de fyra modellerna och det visas att de kan göra förutsägelser som ligger inom 5-20% av försöksvärdena. Så länge modellerna används inom de begränsningar som finns (se t.ex. Tabell 3) så anses de vara tillräckligt noggranna för att vara värdefulla för användning inom räddningstjänsten.

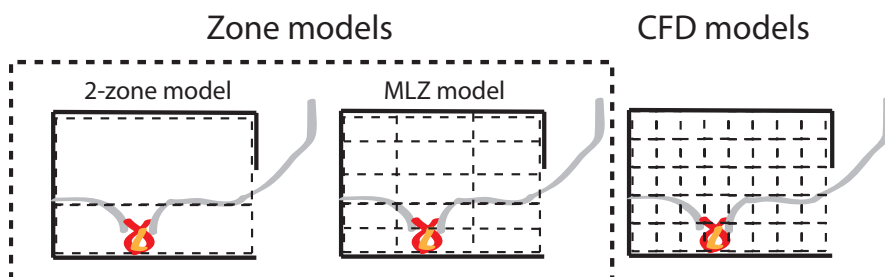
4.3 Modeller för stora utrymmen

När det gäller bränder i stora utrymmen, så som beskrivet i kapitel 2, finns det inga analytiska uttryck eller modeller, för att t.ex. beräkna gastemperatur, presenterade i etablerade läroböcker [4, 34] eller facklitteratur [38]. Ett undantag är möjligen modeller för att beräkna temperaturen i en takstråle (eng. *ceiling jet*), tillämpbarheten för denna typ av modell för räddningstjänsten anses dock vara starkt begränsad eftersom de främst är tillämpbar i det väldigt tidiga brandförloppet, innan lokalen rökfylles.

Anledningen till att antalet analytiska modeller är begränsat i detta område jämfört med rumsbranden är den ökade komplexiteten, framförallt på grund av att det i stora lokaler inte går att anta att

brandgaslagret har en homogen temperatur. Detta innebär att bl.a. att värmeöverföringen till väggar och tak blir mer komplicerad och att brandens placering i lokalen får en större betydelse. Det är därför nödvändigt att studera problemet numeriskt.

Tre olika numeriska modeller har jämförts i två artiklar [40, 41] i projektet. En av de studerade modellerna har vidareutvecklats inom ramen för detta projekt (se vidare i avsnitt 5.1). De tre modellerna som studerats är två-zonsmodellen CFAST [39], multi-zonmodellen MLZ och CFD-modellen FDS [42, 43]. Någon djupare beskrivning av modellerna ges inte här istället hänvisas till de angivna referenserna [40, 41].



Figur 5: Illustration av hur de tre olika modellerna delar upp en beräkningsdomän i olika s.k. zoner eller celler.

Det finns begränsad med experimentella data, med tillräckligt hög kvalitet, för bränder i stora lokaler vilket innebär att någon direkt jämförelse med sådana data inte är gjord. Däremot har de tre modellerna jämförts med varandra.

FDS är den mest avancerade modellen och har dessutom genomgått omfattande validering [43]. Det är därför rimligt att tro att FDS ger de bästa förutsägelser. Den stora nackdelen med FDS är dock de långa beräkningstiderna. Även CFAST har genomgått omfattande validering, problemet med CFAST i detta fall är dock att ett homogent brandgaslager antas vilket, som beskrivits i avsnitt 4.2, är problematiskt när stora utrymmen studeras. CFAST ger inte heller någon vertikal temperaturfördelning vilket både FDS och MLZ-modellen gör. MLZ-modellen är vidareutvecklad som en del i detta projekt vilket gör att den numeriska lösningen inte har genomgått någon betydande verifiering, någon större validering är heller inte gjord. De största fördelarna med MLZ-modellen är dock den korta beräkningstiden och att modellen ger temperaturprofiler både horisontellt och vertikalt i ett stort utrymme. Dessutom är multi-zon konceptet enklare och mer lättöverskådligt än en CFD-modell, detta innebär att det är lättare för användaren att sätta sig in i hur modellen fungerar, vilket är något som sannolikt kan tilltala personer på räddningstjänsten som jobbar med datormodellering mer sällan än t.ex. brandkonsulter.

4.4 Modeller för konstruktionsbränder

Konstruktionsbränder är ett brett område och därför är det svårt att greppa över hela området. Den teoretiska förståelsen kring fundamentala områden som värmetransport och densitetsdrivna flöden är god, men kunskapen kring förbränning vid reducerad syrenivå är ytterst begränsad. Några generella och för räddningstjänsten användbara analytiska eller numeriska modeller har inte kunnat identifieras inom ramen för projektet. För räddningstjänstens del krävs betydligt mer arbete och forskning innan några konkreta användbara modeller för konstruktionsbränder kan appliceras i praktiken. Omfattningen på problematiken anses så stor att området inte har prioriterats i detta arbete. Istället har fokus förflyttats till användning av praktiska verktyg vid konstruktionsbränder.

Ett sådant verktyg är värmekameror, dessa kan nämligen användas för att hitta glödbränder i t.ex. konstruktioner. Det kan också användas för att lokalisera nödställda eller för att scanna en byggnad

utvändigt för att ge underlag till beslut under en släckinsats. Det är dock inte oproblemiskt att använda värmekameror vid räddningsinsats. Bland annat kan en övertro till tekniken leda till att situationer misstolkas vilket leder till ett felaktigt eller otillräckligt beslutsunderlag vid en insats. Det är därför viktigt med bra praktisk och teoretisk utbildning på tekniken.

Idag finns det ingen översikt kring hur utbredd användningen av värmekameror är på svenska räddningstjänster och vilken utbildning och erfarenhet som användarna har. Därför har en enkätundersökning av räddningstjänstens användning av värmekamera gjorts inom ramen för projektet [44].

Enkätundersökningen bestod av 20 frågor som både var slutna och öppna. Undersökningen besvarades av totalt 88 personer från räddningstjänster runt om i Sverige. Respondenterna hade olika utbildningsbakgrund och befattning på sin räddningstjänst. Resultatet från enkäten indikerar att värmekamera är ett verktyg som används i stor utsträckning på svenska räddningstjänster vid brand i byggnad. Värmekameran används av i princip alla befattningar i brandstyrkan, framförallt är det dock brandmän som använder den vid rökdykning. Högre befattningar använder värmekameran för t.ex. utvändigt scanning av en byggnad som beslutsstöd. Trots att de flesta av respondenterna har en utbildning kring användning av värmekameran (>90%) och tolkning av bilddata (>80%) så anser att de flesta att de har behov av ytterligare utbildning.

I rapporten konstateras det att värmekameran på kort tid har blivit ett värdefullt komplement i räddningstjänstens verktygslåda och att den används idag för en mängd olika uppgifter vid brand i byggnad. Det är dock uppenbart att teoretisk och praktisk utbildning krävs och att en god kunskap kring värmetransport och värmekameras funktion är nödvändig för att kunna tolka och förstå bilddata.

4.5 Slutsats av inventeringsarbete

Teorin kring rumsbränder är tämligen väl befäst och det finns mycket litteratur och utbildningsmaterial på området, den teoretiska förståelsen på området anses därför vara mycket god (se Tabell 4). Detta material är dock endast till viss del anpassad för räddningstjänsten, se t.ex. *Fire Dynamics Training* [7] och Bengtsson [45]. När det gäller brandingenjörer så har de en omfattande utbildning om rumsbränder, problemet är dock att den teori som de har med sig från sin grundutbildning ofta inte kopplade till en praktisk användning inom räddningstjänsten.

Några analytiska uttryck för beräkning av förhållande vid brand i stora utrymmen finns inte. Det finns dock möjligheter att studera problemet numeriskt. I ett stort utrymme kommer förhållandena sannolikt vara icke-homogena (t.ex. varierar temperaturen i brandgaslagret) vilket gör situationen mer komplex än i rumsbranden och det är en anledning till att den teoretiska förståelsen anses vara begränsad (se Tabell 4). Det innebär också att två-zonsmodeller som t.ex. CFAST ej är tillämpbara. Den studerade MLZ-modellen ger sannolikt inte lika korrekta resultat som FDS, men noggrannheten anses vara så god att modellen kan utgöra ett värdefullt komplement till FDS pga. den betydligt kortare beräkningstiden. De modeller som beskrivs i avsnitt 4.3 anses framförallt vara tillämpbara för kontroll och utvärdering av brandtekniskdimensionering samt vid insatsplanering och utredningsarbete.

När det gäller konstruktionsbränder finns det inte heller några analytiska uttryck, och det är även svårt att modellera brandspridning vid begränsad ventilation. Därför anses den teoretiska förståelsen vara starkt begränsad (se Tabell 4). När det gäller praktiska verktyg för att bekämpa konstruktionsbränder så förfaller det som att värmekameran används flitigt på svenska räddningstjänster, och mer och mer för scanning av en byggnad som ett underlag för taktik eller uppföljning av släckinsatser. Det är uppenbart från den genomförda enkätstudien att det finns en stor vilja till vidareutbildning på området när det gäller praktiskt användning, men också när det kommer till tolkning av bilddata och koppling till brandteori.

Tabell 4: Den nuvarande teoretisk förståelse av branddynamik i tre olika kategorier av bränder.

	Rumsbränder	Bränder i stora utrymmen	Konstruktionsbränder
Nuvarande teoretisk förståelse	Mycket bra	Begränsad	Starkt begränsad

5 Utveckling och tillämpning

Av Tabell 4 framgår det att den nuvarande teoretiska förståelsen för rumsbränder, med avseende på tillämpbarhet för räddningstjänsten, bedöms vara ”Mycket bra”. Något behov av ytterligare modellutveckling inom detta område ansågs därför inte vara rimligt inom ramen för detta projekt. Fokus för området ”rumsbränder” har därför varit mot tillämpning av den kunskap om brandteori som finns vilket har resulterat i utveckling av utbildningsmaterial för brandutredning. Flera delar av utbildningsmaterialet är också tillämpbart i andra fall än för rumsbränder. Detta material presenteras kortfattat i avsnitt 5.2.

När det gäller bränder i stora utrymmen så bedömdes den nuvarande teoretiska förståelsen som ”Ganska bra”. Som nämns i avsnitt 4.3 saknas enklare analytiska uttryck och om detta område ska studeras krävs en numerisk lösning med någon typ av mjukvara lämplig för ändamålet. Den begränsade tillgången på sådan mjukvara, vilket beskrivs i avsnitt 4.3, föranledde vidareutvecklingen av ett numeriskt verktyg som beskrivs kortfattat i avsnitt 5.1.

För området konstruktionsbränder har det ansetts att det krävs betydligt mer forskning innan några konkreta användbara modeller (analytiska eller numeriska) för konstruktionsbränder kan tillämpas i praktiken inom räddningstjänsten. Omfattningen på problematiken anses vara så stor att området inte har prioriterats i projektet och någon utveckling eller tillämpningsinsats har inte genomförts.

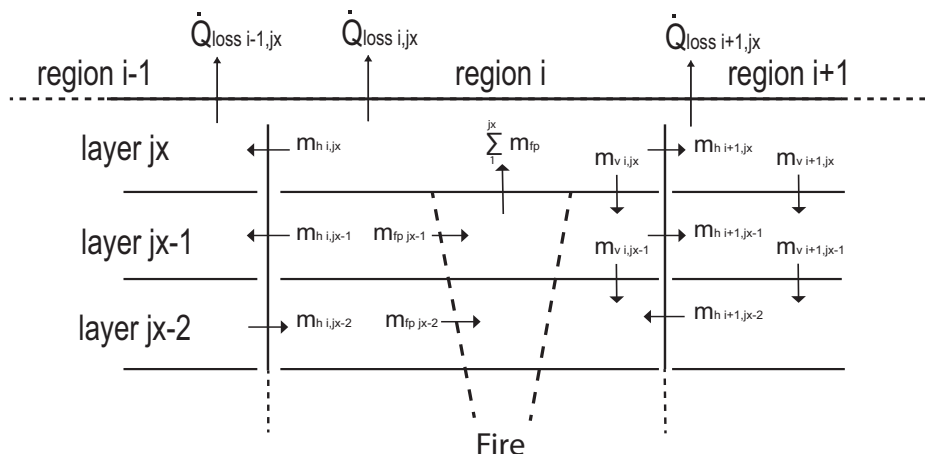
Även om det i projektet har tagits vissa steg framåt så finns stor potential för fortsatt utveckling och tillämpning och detta beskrivs i kapitel 6.

5.1 Utveckling av modell för stora utrymmen

I avsnitt 4.3 tas problematiken kring beräkning av temperaturer i stora utrymmen upp. För närvarande används främst CFD-modeller, som t.ex. FDS [42]. för att beräkna temperatur i dessa fall, vilket sannolikt ofta ger ett rättvisande resultat. Problemet är dock att det är ett tidskrävande arbete då beräkningstiden kan vara flera dagar. De betydligt snabbare två-zonsmodellerna kan vara lockande att använda men giltigheten för dem är begränsade när gränsvärdena (se t.ex. Tabell 3) överskrids. Det finns även begränsningar när det gäller minsta effektutveckling ($> 0.1 \text{ kW per m}^3$ i utrymmet) och maximal effektutveckling ($< 1 \text{ MW per m}^3$ i utrymmet) [37].

En mellanväg är att använda en multi-zonmodell, som också nämns i avsnitt 4.3. Multi-zon konceptet bygger på att samma grundläggande ekvationer antagande som en i två-zons modell men volymen delas in i flera mindre zoner vilket gör att större hänsyn kan tas till temperaturen varierar i brandgaslagret.

Multi-zon konceptet har beskrivits i tidigare publikationer [46, 47], dock finns ingen etablerad och allmänt tillgänglig mjukvara. Konceptet bygger på att utrymmet delas in i flera regioner (horisontella) och lager (vertikala) d.v.s. en indelning sker i flera mindre zoner (se Figur 5). Branden specificeras med en effektutveckling och brandgaserna från branden stiger uppåt från branden i en plym som kommer in i det högsta belägna lagret i brandregionen. Luft sugas in i plymen från de lager som den passerar genom. Massa transporteras horisontellt till lager i angränsande områden på grund av hydrostatiska tryckskillnader. Det finns också ett massflöde vertikalt mellan lagren i varje region, vilket beräknas med en massbalans (se Figur 6).



Figur 6: Principer för multi-zon konceptet, efter Suzuki et al [47].

De principiella ekvationerna för zon-modeller härleds från mass- och energibalanser för varje zon. Den fullständiga härledningen av ekvationen finns beskriven av Quintiere [48].

I de tidigare studierna, där multi-zon konceptet har använts, studerades endast en enda region eller flera regioner men då bara i en två dimensionell korridor [47]. Den stora skillnaden i den modellen som används i detta projekt är att den betraktar volymen i tre dimensioner. Detta gör att modellens användningsområde ökar och modellen blir ett tydligt mellanläge mellan de traditionella två-zonsmodellerna och CFD-modeller.

Det är viktigt att poängtera att, även om modellutveckling skett så har ingen praktiskt användbar modell tagits fram i projektet. Den modell som använts i de två publikationerna [40, 41] är en ”experimentell” version som främst är ämnad för forskning. Verifiering och validering av modellen liksom ”paketering” för att göra den användarvänlig är nödvändig innan den kan användas utanför forskarvärlden. Men som det beskrivs i avsnitt 4.3 visar dock tillämpningen av modellen [40, 41] att multi-zon konceptet kan vara ett värdefullt komplement till CFD-beräkningar, således anses det att ytterligare arbete på området är motiverat.

5.2 Utbildningsmaterial kopplat till brandutredning

I den intervjustudie som genomförts (se avsnitt 3.1) framkom det att en tydligare koppling mellan teori och praktik är önskvärd bland de som jobbar på räddningstjänsterna. Ett exempel på där brandteori används i stor omfattning är de rapporterna från SHK som tas upp i avsnitt 3.2. Men det finns andra exempel, inte minst från utlandet. Ett sådant exempel är det pågående arbete på *Instituut Fysieke Veiligheid* (IFV) i Nederländerna. IFV har nämligen stöttat flera lokala räddningstjänsterna med sin expertis inom brandteori vid ett flertal brandutredningar [49].

I Sverige erbjuder MSB kurser inom olycksutredning och brandplatsundersökning. Men någon kurs som innehåller en fördjupad koppling mellan brandteori och brandutredning erbjuds inte. För att stödja utvecklingen av en sådan kurs så har ett utbildningsmaterial för branddynamik och brandutredning tagits fram inom ramen för projektet. Detta utbildningsmaterial har sedan använts i den nystartade kursen *Kvalificerad brandutredningsmetodik* som erbjuds som valfri kurs för brandingenjörsstudenter vid LTH.

Det utbildningsmaterial rörande branddynamik och brandutredning som utvecklats består av två delar: föreläsningar (2 stycken) och övningsuppgifter. Det är utformat för brandingenjörer eller brandingenjörsstuderande, dvs. det förutsätter en god kunskap inom brandteori och brandförlopp i byggnader. Det främsta syftet med utbildningsmaterialet är att visa på hur den teori som man tidigare har studerat kan tillämpas på brandutredningar. Det är alltså inte främst tänkt att studenten ska lära

sig någon ny brandteori, utan istället ska befintlig kunskap tillämpas praktiskt på området brandutredningar. De två föreläsningarna innehåller följande delar:

- Antändning
- Tillväxtfas (inkl. beräkningar av: flamhöjd, plymer och ceiling jet)
- Övertändning
- Fullt utvecklade brand
- Begränsad ventilation
- Spridning till närliggande byggnader

De teoretiska bitarna av föreläsningarna varierar med konkreta exempel kopplade till brandutredningar. Exempelvis används brandbildstolkning för att uppskatta plymutbredning vilket sedan kan användas för att göra en överslagsberäkning av effektutvecklingen.

Utbildningsmaterialet är tillgängligt som PDF via Lunds Universitets publikationsdatabas [50] i anslutning till denna rapport.

5.3 Slutsats av utvecklings- och tillämpningsarbete

En s.k. multi-zonmodell studerats och vidareutvecklats inom ramen för projektet. Baserat på den utvärdering som gjorts av modellen så kan det konstateras att den kan utgöra ett värdefullt komplement till de befintliga modellerna. Multi-zonmodellen har sina begränsningar men samtidigt anses den utgöra ett relevant mellansteg mellan traditionella två-zons modeller och CFD modeller. Ytterligare utvecklingsarbete är dock nödvändigt innan den kan användas i praktiken.

När det gäller tillämpning så har ett utbildningsmaterial för hur brandteori kan användas inom brandutredningar tagits fram. Tanken med utbildningsmaterialet är att utgå från befintliga kunskaper om brandteori och applicera dem praktiskt på området brandutredningar. Ytterligare utbildningsmaterial för brandutredningar men även för förebyggande och operativt arbete bör utvecklas i framtiden.

6 Tankar kring fortsatt arbete

Flera tänkvärda aspekter som kan vara intressanta att studera vidare har identifierats i projektet. Utbildning och applicering av befintlig brandteori på räddningstjänstområdet, samt utveckling av modeller är två områden som anses viktiga för framtiden. Dessa områden beskrivs i detta avslutande kapitel.

6.1 Utbildning och applicering

Att kunskap om branddynamik och brandteori är viktigt för räddningstjänstens arbete är uppenbart efter intervjustudien. Som det konstateras i inventeringsdelen i projektet finns det en hel del teori och modeller som bör kunna tillämpas redan idag i räddningstjänstens arbete. En viktig del för framtiden är därför att sätta in den teori som finns i mer praktiska sammanhang i samband med utbildning och vidareutbildning för räddningstjänsten. Det anses viktigt att visa på den praktiska nyttan av goda kunskaper inom brandteori för att tillämpningen ska öka. En start på detta arbete har skett i projektet genom utvecklingen av kursmaterial för brandutredning. Men det finns mycket mer att göra, inte minst när det gäller för det förebyggande arbetet och brandutredningar. Vilket kan ske genom tillägg och utveckling av befintliga utbildningar eller genom etablering av nya kurser och seminarier.

Ytterligare en insats som kan genomföras för att stödja räddningstjänsterna är att paketera de befintliga modeller som anses vara tillämpbara, för t.ex. insatsplanering, brandutredning eller förebyggande arbete, på ett bra sätt. Detta kan t.ex. ske genom en översyn av mjukvaran MSB RIB för att se om det kan integreras i denna, alternativt utvecklas en ny verktygslåda i form av en enklare fristående mjukvara.

6.2 Modellutveckling

När det gäller konstruktionsbränder och till viss del även bränder i komplexa byggnader så är, som det visas i Tabell 4, förståelsen begränsad. En förutsättning för att skapa bra modeller som kan vara tillämpbara inom räddningstjänsten är forskning på området, och en hel del forskning pågår. Sådan forskning är givetvis inte bara till gagn för räddningstjänsterna men också vid t.ex. brandtekniskklassificering, brandprovning och brandprojektering. Det är dock viktigt för räddningstjänsterna och MSB att vara uppdaterade på området och undersöka vad som kan bli tillämpbart rent praktiskt för räddningstjänstområdet.

Inom räddningstjänstens arbete kan osäkerheterna ibland vara stora och en enkel beräkning kan vara tillräcklig för att få en uppfattning kring ett problem. Enklare modeller kan därför vara att föredra. När det gäller bränder i stora lokaler har en MLZ-modellen studerats och utvecklats. För närvarande är användarvänligheten begränsad, men möjligen kan den förbättras för att i framtiden kunna användas för insatsplanering eller för utvärdering och kontroll av brandtekniskprojektering.

7 Referenser

1. Johansson N., "Fallstudie av konstruktionsbränder", rapport 3191, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2015
2. Holmstedt, G., Johansson, N., Särdaqvist, S., Ingasson, H., Lindström J. & Vylund, L., "Inträffade Storbränder -- Analys och Verkan av Alternativa Metodval till Räddningstjänstens insats", rapport 3185, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2015.
3. Frantzich, H., de Korotenski, T. & Marberg, P-A., "Brandskyddshandboken#6", Lund, Sverige, 2017.
4. Karlsson, B. & Quintiere J.G., "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press, Boca Raton, USA, 1999.
5. Särdaqvist, S., "An Engineering Approach to Fire Fighting Tactics", *2nd International Conference on Fire Research and Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, USA, pp.351-361, 1998.
6. Dahlén, S., "Svenska ingenjörer eftertraktade", Räddningsverkets tidning Sirenen, 2002.
7. From Knowledge to Praticce, <https://www.firedynamicstraining.ca> [Besökt 2019-01-09]
8. Svensson, S., "Byggnadstekniskt brandskydd i MSB:s utbildningar", rapport 3182, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2014.
9. Björklund, J-Å, "En effektivare kommunal räddningstjänst", SOU 2018:54, 2018.
10. Fridolf, K. & Frantzich, H., "TuFT: Tunnel Fire Tools - Teknisk dokumentation", rapport 3184, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2014.
11. Ingason, H., "Fire Development In Large Tunnel Fires", *Fire Safety Science* 8 pp. 1497-1508, 2005. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.8-1497>
12. Overholt, K. & Ezekoye, O., "Characterizing Heat Release Rates Using an Inverse Fire Modeling Technique", *Fire Technology*, 48:893, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0250-9>
13. Jahn, W., "Inverse Modelling to Forecast Enclosure Fire Dynamics", University of Edinburgh, 2010.
14. Rengel, F., Pastor, E. & Planas, E. "Assessment of the predictive capabilities of different modelling tools to forecast fire effects in residential compartments", *International Conference on Research and Advanced Technology in Fire Safety*, Santander: Universidad de Cantabria, pp. 217-233, 2017.
15. Merci, B., "Computer Modeling for Fire and Smoke Dynamics in Enclosures: A Help or a Burden?", *Fire Safety Science* 11 pp. 46-65, 2014. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-46>
16. Calkin, D.E., Thompson, M.P., Finney, M. & Hyde, K.D., "A real-time risk assessment tool supporting wildland fire decisionmaking", *Journal of Forestry*, 109(5) pp. 274-280, 2011.
17. Nilsson, M., & van Hees, P., "Delrapport SAFE MULTIBYGG AP1-4", Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2012.
18. Johansson, N. & Svensson, S. "Review of the Use of Fire Dynamics Theory in Fire Service Activities", *Fire Technology*, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0774-3>
19. MSB Kommunal olycksundersökningar <https://www.msb.se/sv/Kunskapsbank/Erfarenheter-fran-olyckor--kriser/Olycksundersokningar/Olycksundersokningar--kommuner/> [Besökt 2019-01-09]
20. Liljekvist, P., "Olycksundersökning insats vid brand DHL:s lager och G Möller AB, Ljungby 2014-05-30", Värnamo Kommun, 2014.
21. Fager, C., "Brand i källarförråd, 24, Enköping, 2014-11-25", Räddningstjänsten Enköping – Håbo, 2014.
22. Markus, A. & Markusson, S., "Insatsundersökning 2014-03-10", Räddningstjänsten Norrtälje, 2014.

23. SHK, "Brand på Textes HVB-hem i Norrtälje, Stockholms län", Statens Haverikommission, 2015.
24. SHK, "Lägenhetsbrand, Kuddbygränd 12, Rinkeby", Statens Haverikommission, 2010.
25. SHK, "Brand i Hotell Borgholm, Borgholm Öland", Statens Haverikommission, 2006.
26. SHK, "Diskoteksbranden på Herkulesgatan i Göteborg", Statens Haverikommission, 2001.
27. SHK, "Brand i kårhuset Rabalder, Borås", Statens Haverikommission, 1999.
28. Grimwood, P. "Euro Firefighter 2: 6,701 Building Fires", Jeremy Mills Publishing, UK, 2017.
29. Svensson, S. "Experimental Study of Fire Ventilation During Fire Fighting Operations", *Fire Technology* 37(1), pp. 69–85, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1011653603104>
30. Svensson, S. "Fire ventilation", Räddningsverket, Karlstad, Sverige, 2005. <https://msb.se/RibData/Filer/pdf/20879.pdf> [Besökt 2019-01-09]
31. Räddningsverket, "Brandvattenförsörjning", Räddningsverket, Karlstad, 1996.
32. Barnett, C., "Calculation methods for water flows used for fire fighting purposes", SFPE (NZ) Technical Publication 2004/1, 2004. <http://www.highrisefire.co.uk/docs/sfpe-TP2004-1.pdf> [Besökt 2019-01-09]
33. Grimwood P "Euro firefighter 2: 6,701 Building Fires", Jeremy Mills Publishing, UK, 2017.
34. Drysdale, D., "An Introduction to Fire Dynamics", 3rd ed. Wiley, England, 2011.
35. Johansson N., "The Pre-Flashover Compartment Fire and Fire Safety Engineering – a Review of Hand-calculation Methods", *Proceedings of the 11th Conference on Performance-based Codes and Fire Safety Design Methods*, Warsaw, Poland, 2016.
36. ISO/WD 13390, "Fire Safety Engineering -, Subsystem 1: Initiation and development of fire and fire effluents", International Organization for Standardization, 1995.
37. ISO/TS 13447, "Fire safety engineering — Guidance for use of fire zone models", International Organisation for Standardization, 2013.
38. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., National Fire Protection Association; Society of Fire Protection Engineers, Quincy, Bethesda, USA, 2016.
39. Peacock, R.D., Reneke, P.A. & Forney, G.P., "CFAST – Consolidated Fire And Smoke Transport (Version 7) Volume 2: User's Guide", National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2015.
40. Johansson N., "Estimating gas temperatures in large enclosures", *2nd International Conference on Structural Safety on Fire and Blast Loading (CONFAB)*, London, England, 2017.
41. Johansson, N., "Far-Field Temperatures in Progressing Fires", *3rd European Symposium on Fire Safety Science*, Nancy, Frankrike, 2018
42. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J. & Vanella, M., *Fire Dynamics Simulator User Guide*, NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, 2018. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1019>
43. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C. & Overholt, K., *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide - Volume 3: Validation*. NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, 2017. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018-3>
44. Johansson, N., "Enkätstudie av användning av värmekamera vid brand i byggnad", rapport 7046, Lunds Tekniska Högskola, 2019.
45. Bengtsson, L., "Inomhusbrand", Räddningsverket, 2001.
46. Chow WK., "Multi-cell concept for simulating fire in big enclosures using a zone model", *Journal of Fire Sciences* 14:186-197, 1996.
47. Suzuki, K., Harada K., & Tanaka, T., "A Multi-layer Zone Model For Predicting Fire Behavior in a Single Room", *Fire Safety Science* 7, pp. 851-862, 2002. <http://dx.doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.7-851>
48. Quintiere, J.G., "Fundamentals of Enclosure Fire "Zone" Models", *Journal of Fire Protection Engineering*, 99–119, 1989.

49. IFV, "Trends om van te leren", <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20171003-BA-BRNL-Casuistiek-uit-brandonderzoek-trends-om-van-te-leren.pdf> [Besökt 2019-01-09]
50. Lund University, Lund University Publications, <https://lup.lub.lu.se/search/> [besökt 2019-01-09]

Bilaga A – Publikationer och övriga aktiviteter i projektet

Artiklar (peer review):

Johansson, N. & Svensson, S., "Review of the Use of Fire Dynamics Theory in Fire Service Activities", *Fire Technology*, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0774-3>

Johansson N., "A Case Study of Far-Field Temperatures in Progressing Fires", *Journal of Physics: Conference Series*, 1077, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1107/4/042018>

Artiklar (konferens):

Johansson N., "The Pre-Flashover Compartment Fire and Fire Safety Engineering – a Review of Hand-calculation Methods", *Proceedings 11th Conference on Performance-based Codes and Fire Safety Design Methods*, Warsaw, Poland, 2016.

Johansson N., "Estimating gas temperatures in large enclosures", *2nd International Conference on Structural Safety on Fire and Blast Loading (CONFAB)*, London, England, 2017.

Poster:

Johansson, N., "Fire Safety Engineering at the Rescue Service", *12th International Symposium on Fire Safety Science*, Lund, 2017.

Johansson, N., "Far-Field Temperatures in Progressing Fires", *3rd European Symposium on Fire Safety Science*, Nancy, Frankrike, 2018.

Rapporter:

Johansson, N., "Enkätstudie av användning av värmekamera vid brand i byggnad", rapport 7046, Lunds Tekniska Högskola, 2019.

Övrigt:

Presentation på Brandskydd, "Branddynamiska metoder som stöd för räddningstjänsten", Upplands Väsby, 2017.

Presentation på WinGuard, "Utmaningar i moderna byggnader". Arlanda, 2017.

Deltagande i "Exchange of Experts" november 2018 på IFV, Nederländerna

Utbildningsmaterial, "Branddynamik ett verktyg vid brandutredningar". Utbildningsmaterialet är tillgängligt som PDF i anslutning till denna rapport via Lunds Universitets publikationsdatabas [50].

Pågående RoundRobin studie kring Byggprocessen inom Räddningstjänsten. Denna rapporteras inom LTH:s förstudie om Brand och Olyckor finansierat av MSB.