

Inledande insats mot ventilationskontrollerad brand med risk för backdraft

Linus Ahlman
Sebastian Du Rietz

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

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5369, Lund 2011

Inledande insats mot ventilationskontrollerad brand med risk för backdraft

**Linus Ahlman
Sebastian Du Rietz**

Lund 2011

Titel: Inledande insats mot ventilationskontrollerad brand med risk för backdraft

Title: First response against underventilated fire with imminent risk of backdraft

Författare/Authors: Linus Ahlman, Sebastian Du Rietz

Rapport/Report: 5369

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5369--SE

Number of pages: 108

Sökord: Ventilationskontrollerad brand, Underventilerad brand, Brandgasantändning, Backdraft, Inledande insats, Vattens släckförmåga.

Keywords: Ventilation-controlled fire, Under-ventilated fire, Smoke ignition, Backdraft, First response, Extinguishing with water, Initial firefighting attack.

Språk/language: Svenska/Swedish

Abstract

This report evaluates a first response with water against an underventilated fire with imminent risk of backdraft occurrence. The report is based on a literature review followed by 35 experiments conducted in a shipping container. A fire in a wood-based fuel was forced to become underventilated after which a hatch was opened and the outcome was studied. In some of the experiments a known amount of water was discharged before opening the hatch in order to evaluate its impact. The results are associated with some uncertainties and sources of error, resulting in a difficulty to generalize. This is due mainly to the fact that the experiments were conducted outdoors in large scale with actual firefighting equipment. The report shows that a first response with water is useful since it can suppress ignition of combustible gases and backdraft. In order to obtain this effect in the experiments 260 g water per m³ protected volume was required. The temperature reduction following the water discharged was quickly recovered. This indicates that smoke ignition is primarily suppressed by diluting the gas in the compartment. This finding is consistent with existing theory.

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2011.

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

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

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

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

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

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

Förord

Det här arbetet utgör det huvudsakliga momentet i kursen VBRM01 som utförs som en avslutande del av brandingenjörsutbildning vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 22,5 högskolepoäng.

Vi vill rikta ett stort tack till alla personer som varit oss behjälpliga under arbetets gång. Ett extra stort tack vill vi rikta till följande personer.

Stefan Svensson docent och teknisk doktor i brandteknik på MSB som varit en av våra handledare. För mycket god handledning samt goda tankar och feedback under hela arbetets gång.

Daniel Rosberg brandingenjör på WSP som varit en av våra handledare. För hjälp vid uppstarten av arbetet samt vägledning under arbetets gång.

Stefan Särdaqvist teknisk doktor i brandteknik på MSB. För vägledning i samt feedback på de teoretiska delarna i rapporten.

Lasse Nelson brandingenjör vid MSB. För goda idéer, tips och hjälp under de empiriska försöken.

Sven-Ingvar Granemark forskningsingenjör på Brandteknik Lunds tekniska högskola. För hjälp under och inför de empiriska försöken.

Patrick van Hees professor i brandteknik vid Lunds tekniska högskola. För goda tankar och råd under arbetet.

Berit Andersson lektor i brandteknik vid Lunds tekniska högskola. För vägledning och stöd i praktiska frågor under arbetet.

Shan Rafel Station officer Brisbane. För idéer och tankar under arbetet.

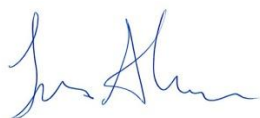
Patrick Ahlgren brandingenjörsstudent vid Lunds tekniska högskola. För hjälp med korrekturläsning och feedback på arbetet.

Erik Carlsson brandingenjörsstudent vid Lunds tekniska högskola. För hjälp med korrekturläsning och feedback på arbetet.

Johan Sjölin brandingenjörsstudent vid Lunds tekniska högskola. För hjälp med korrekturläsning och feedback på arbetet.

Maria Sune psykologkandidat vid Lunds universitet. För hjälp med språkliga synpunkter.

Lund, December 2011



Linus Ahlman



Sebastian Du Rietz

Sammanfattning

Det är ofta ventilationskontrollerade bränder som räddningstjänsten ställs inför och det är dessa som skapar störst problem. Trots detta finns det inte lika mycket arbete utfört gällande underventilerade som ventilerade bränder. Då räddningstjänsten kommer fram till en brand som är underventilerad måste de fatta en rad beslut. Att göra någon form av inledande släckinsats med vatten är då vanligt. Den här rapporten visar att en sådan insats är meningsfull då den kan förhindra att brandgaserna antänds och därmed avvärja att backdraft uppstår. För att förhindra brandgasantändning krävdes det i genomförda försök runt 260 gram vatten per kubikmeter rumsvolym. I de fall brandgasantändning förhindrades förlängdes även tiden från öppning av dörren till det att branden åter blivit fullt utvecklad med ökad volym tillfört vatten.

Rapporten inleds med en beskrivning av området ventilationskontrollerad brand och specialfallet backdraft. En litteraturstudie inom området har genomförts och den huvudsakliga inriktningen har varit arbeten som studerat möjliga metoder för att förmildra eller förhindra en backdraft. Detta följs sedan upp med en rad empiriska försök där vattnets förmåga mot en ventilationskontrollerad brand utvärderas.

Det har genomförts 35 empiriska försök med en fraktcontainer som brandrum, där bränslet huvudsakligen utgjordes av trä i form av lastpallar. Försöken byggde på att en brand tvingades bli kraftigt underventilerad varefter öppning skedde och utfallet studerades. Samtliga försök studerades utifrån temperatur, tryck och visuella observationer. I ett antal av försöken tillfördes en känd mängd vatten innan öppning för att utvärdera vilken inverkan det fick på brandförloppet.

De empiriska försöken var förenade med en rad osäkerheter och felkällor vilket försvårade möjligheterna att generalisera resultaten. Dessa osäkerheter och felkällor uppkom framförallt på grund av att försöken utfördes i stor skala utomhus med verkliga bränslen och räddningstjänstens ordinarie utrustning. Trots detta kunde stora likheter gällande brandförloppets utveckling konstateras mellan försöken. Tack vare en viss form av reproducerbarhet i kombination med en omfattande diskussion har en rad slutsatser konstaterats.

Vatten i små volymer har förmågan att förhindra brandgasantändning och fördröja brandförloppets återhämtning. Vid en inledande insats är dock vattnets förmåga att släcka branden begränsad om det inte träffar bränslet. Det primära målet med en inledande insats bör därför vara att förhindra brandgasantändning och förbättra möjligheterna till invändig släckning. Att brandgasantändning förhindrades kunde inte enbart förklaras med brandgasernas temperatursänkning. Det skedde förvisso en momentan temperatursänkning då vattnet förångades i brandgaserna men temperaturen återhämtade sig fort. Temperaturen steg till nästan samma nivåer som i dem utan vatten. Detta tyder på att det istället är vattnets spädande effekt som förhindrar brandgasantändning, vilket även konstaterats i tidigare utförda arbeten.

Executive summary

Underventilated fires are a common phenomenon for fire brigades to deal with and fires of this nature often cause the greatest challenges. Despite this, there is a lack of research and literature on the subject of underventilated fires. When the fire brigades arrive at the scene of an underventilated house fire, a number of decisions are required. A common first action is to undertake initial fire fighting utilising water as extinguishing media. This report shows that this initial fire fighting is beneficial as it helps prevent a backdraft. 260 grams of water per cubic meter of room volume was required to prevent the combustible gases from igniting. In the cases when ignition was successfully prevented, the time from opening of the door until the fire was fully developed again was prolonged with increased levels of added water.

The report begins with a description of the underventilated fire phenomena and the special case of backdraft. A literature study of the subject has been undertaken with the main objective being literature addressing possible methods to mitigate or prevent a backdraft. Subsequent to the literature study multiple empirical experiments are carried out to evaluate the use of water as extinguishing media on an underventilated fire.

35 empirical experiments have been executed with a cargo shipping container serving as fire room and the main fuel source being wooden pallets. The experiments are based on a fire being significantly underventilated and subsequently opening the fire room to study the outcome. In a number of the experiments a known quantity of water is discharged prior to opening the room in order to evaluate the effect.

The empirical experiments have a number of associated uncertainties and possible sources of error that limit the possibility of projecting the results to real scenarios. The uncertainties and sources of error are mainly based on that the conducted experiments have been large scale outdoor experiments with real fuel sources and fire brigade standard equipment. Despite this, the fire development has been observed to correspond notably between the different experiments. Owing to the reproducible nature of the experiments combined with a significant discussion, a number of conclusions have been arrived at.

Small volumes of water have the ability to prevent the ignition of combustible gases and to impede on the fire development. However, in a first response the water's ability to suppress the fire is limited if it does not target the fuel. Hence, the primary objective of an initial attack is the prevention of ignition of the combustible gases and to improve the possibility of internal fire fighting. The prevention of ignition can not only be attributed to the reduced gas temperature. Undeniably there is an instantaneous temperature reduction following the water impingement, but the temperature rapidly increases again. The temperature almost reaches the same level as in the experiments where no water was used. Thus, it is believed that the prevented ignition is an effect of the water diluting the combustible gases. This conclusion has also been presented in past reports.

Nomenklatur

$C_{\text{Inertering}}$	Koncentrationen inertgas vid inertering [vol%]
$c_{p,e}$	Värmekapacitet för släckmedel [kJ/kgK]
$c_{p,g}$	Värmekapacitet för brandgaser [kJ/kgK]
$c_{p,p}$	Värmekapacitet för produkter [kJ/kgK]
$c_{p,v}$	Värmekapacitet för vatten [kJ/kgK]
$c_{p,\text{å}}$	Värmekapacitet för vattenånga [kJ/kgK]
c_{p,CO_2}	Värmekapacitet för koldioxid [J/molK]
c_{p,H_2O}	Värmekapacitet för vattenånga [J/molK]
c_{p,N_2}	Värmekapacitet för kväve [J/molK]
ΔH_c	Förbränningsvärme [J/mol]
ΔH_v	Energiåtgång för att värma upp 1 kg vatten från dess starttemperatur till 100°C och sedan förånga det [kJ/kg]
$L_{v,v}$	Ångbildningsvärme för vatten [kJ/kg]
$l_{v,v}$	Ångbildningsvärme för vatten [kJ/mol]
M	Molmassa [g/mol]
m_v	Massa vatten [kg]
n_e	Substansmängd släckmedel [mol]
n_v	Substansmängd vatten [mol]
n_p	Substansmängd produkter [mol]
n_r	Substansmängd reaktanter [mol]
P	Tryck [Pa]
R	Allmänna gaskonstanten [J/molK]
T	Temperatur [K] eller [°C]
T_v	Starttemperatur vatten [K] eller [°C]
ΔT	Temperaturförändring [K] eller [°C]
$T_{g,\text{slut}}$	Sluttemperatur brandgaser [K] eller [°C]

T_g	Brandgasernas starttemperatur [K] eller [°C]
ΔT_g	Brandgasernas temperaturförändring [K] eller [°C]
V_0	Startvolym [m ³]
V_1	Slutvolym [m ³]
V_g	Volym brandgaser [m ³]
V_{rum}	Försökscontainerns volym [m ³]
V_v	Volym vatten [liter]
$V_{\dot{a}}$	Volym vattenånga [m ³]
ρ_g	Densitet brandgaser [kg/m ³]

Innehåll

Förord	V
Sammanfattning	VII
Executive summary	IX
Nomenklatur	XI
Innehåll	XIII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	2
1.4 Metod	2
1.5 Målgrupp	3
1.6 Begränsningar	3
1.7 Avgränsningar	3
2 Ventilationskontrollerad brand	5
2.1 Backdraft	6
2.2 Tecken på ventilationskontrollerad brand	11
3 Släckmetoder	13
3.1 Befintligt arbete	13
3.2 Slutsats befintligt arbete	17
3.3 Val av släckmedel att utvärdera	18
4 Vatten som släckmedel	19
4.1 Egenskaper vid släckning	19
4.2 Påföringsmetoder	23
4.3 Beräkningar	25
4.4 Slutsatser	29
5 Empiriska försök	31
5.1 Försöksuppställning	32
5.2 Mätutrustning	35
5.3 Genomförande	39
5.4 Osäkerheter och felkällor	41
6 Resultat	43
6.1 Volym tillfört vatten	43

6.2	Brandgasantändning	44
6.3	Vattnets inverkan på temperaturutvecklingen	46
6.4	Tryckuppbyggnad	55
7	Diskussion.....	59
7.1	Osäkerheter och felkällor	59
7.2	Resultat.....	63
7.3	Applicerbarhet på verkliga scenarier.....	68
8	Slutsatser	71
9	Fortsatt arbete.....	73
10	Källförteckning.....	75
	Bilaga A. Termoelementens placering i containern	77
	Bilaga B. Resultat för respektive försök	79
	Bilaga C. Temperaturvariation vid vattentillförsel	83
	Bilaga D. Temperatursänkning vid vattentillförsel.....	89
	Bilaga E. In och utflöde i öppningen.....	91

1 Inledning

Det här arbetet utgör det huvudsakliga momentet i kursen VBRM01 som utförs som en avslutande del av brandingenjörsutbildning vid Lunds Tekniska Högskola. Syftet med examensarbetet är att med hjälp av tidigare kunskap och ny information angripa en problemställning inom det brandtekniska området och lösa den på ett ingenjörsmässigt sätt.

1.1 Bakgrund

Om en brand uppstår i ett slutet rum kan denna komma att bli ventilationskontrollerad och med tiden kvävas. I rummet kan det då finnas kvar en större mängd varma brännbara gaser och om en öppning skapas blandas dessa med nytt syre. Detta kan leda till en antändbar blandning och om den antänds blir resultatet en snabb förbränning eller deflagration, detta förlopp kallas backdraft (Guigay, 2008).

Detta fenomen är ett problem för räddningstjänsten eftersom en insats oftast kräver att en öppning till det slutna utrymmet skapas. Detta medför att syre tillförs och skapar därmed förutsättningar för en backdraft. Backdraft har genom åren resulterat i att många brandmän världen över förlorat sina liv (Guigay, 2008). En ökad kunskap om hur en insats bäst skall genomföras för att förhindra en potentiell backdraft är därför av stor vikt.

Det är inte ovanligt att räddningstjänsten ställs inför underventilerade bränder när de anländer till en brand i byggnad och dessa skapar ofta stora problem. Trots detta finns det inte lika mycket arbete gjort gällande underventilerade bränder som för ventilerade. Detta beror till stor del på att de fysiska och kemiska förhållandena är mycket mer komplexa när en brand är ventilationskontrollerad (Gojkovic, 2004). Gällande ventilationskontrollerade bränder har en del arbete gjorts för att kartlägga orsakerna bakom och förhållandena under backdraftförloppet. En del arbete har utförts för att studera möjligheterna att förhindra backdraft. Dock är väldigt lite eller inget arbete gjort för att praktiskt utvärdera räddningstjänstens tillgängliga släckmetoder vid underventilerade förhållanden och risk för backdraft. Det är idag vanligt förekommande att räddningstjänsten utför någon form av släckinsats från utsidan av brandrummet innan de går in. Detta kan ske på en rad olika sätt men det finns få studier gjorda som utvärderar effekten av en sådan inledande påföring av släckmedel. Vi vill därför inom ramen av ett examensarbete studera och experimentellt utvärdera möjliga metoders förmåga att påverka en underventilerad brand och potentiell backdraft.

Intresset för backdraft och idén att utföra ett examensarbete har vuxit fram efter att vi under utbildningen kommit i kontakt med Daniel Rosbergs (tidigare Gojkovic) arbete inom området. Därför kontaktades Daniel när ett examensarbete blev aktuellt för att lyfta frågan om det fanns någon möjlighet att fortsätta arbetet i hans spår; Daniel var positiv. Efter kontakt med Stefan Svensson och MSB konstaterades att en direkt fortsättning på Daniels arbete inte skulle vara möjligt inom ramen av ett examensarbete. En inriktning mot att studera befintliga släckmetoders inverkan på en underventilerad brand växte istället fram.

1.2 Syfte

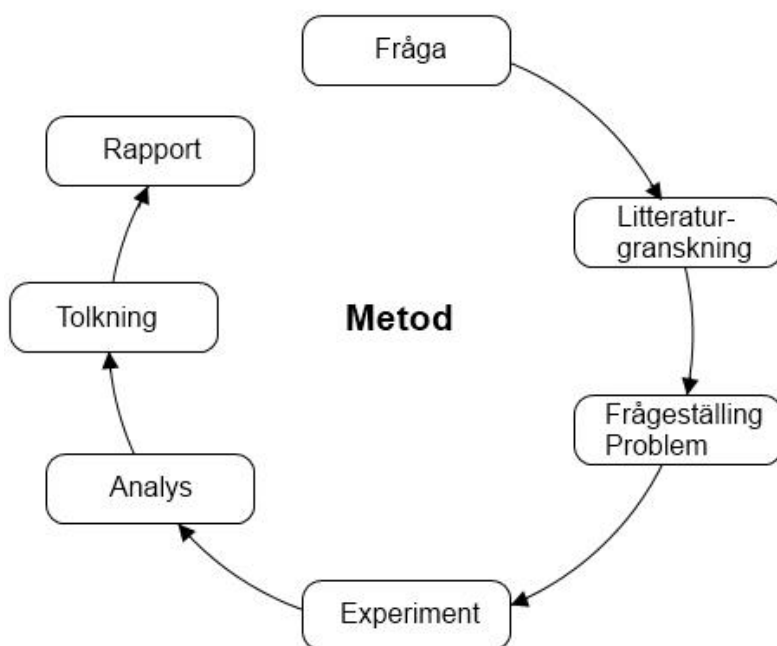
Syftet med examensarbetet är att ge en ökad förståelse för ventilationskontrollerade bränder och de risker som medföljer detta förlopp. Räddningstjänsten har idag ett antal metoder för att angripa en ventilationskontrollerad brand men ingen av dessa har kvantitativt utvärderats. Därför är syftet även att utvärdera vattnets förmåga vid en inledande räddningstjänstinsats mot en underventilerad brand, samt dess förmåga att förhindra backdraft.

1.3 Mål

Målet är att påvisa vattnets förmåga att begränsa riskerna med en underventilerad brand genom att genomföra empiriska försök och presentera kvantitativa resultat från dessa. Delmål i detta är att presentera hur risken för backdraft förändras samt hur brandförloppets återhämtning påverkas då vatten tillförs. Målet är också att utreda hur vatten i små volymer påverkar den ventilationskontrollerade branden och vilka släckegenskaper som får störst betydelse.

1.4 Metod

Den övergripande metoden för arbetet åskådliggörs i figur 1.1 och består av de tre huvudsakliga delarna: genomgång av befintligt arbete, genomförande av empiriska försök och slutligen sammanställning av resultat.



Figur 1.1. Schematisk bild över rapportens arbetsgång (Backman 2008).

Inledningsvis genomfördes en grundlig litteraturstudie av befintligt arbete inom området underventilerad brand med fokus på backdraft och släckmetoder. Denna genomfördes genom att relevant litteratur söktes på: Lunds tekniska högskolas bibliotek, lunds universitets databas Libhub samt sökmotorn Google Scholar. Den litteratur som ansågs intressant granskades och utifrån detta valdes ett mindre antal ut för grundlig genomgång. De viktigaste delarna av detta presenterades, dels för att beskriva fenomenet backdraft och dels för att belysa vilka släckmetoder som tidigare studerats. Utifrån denna litteraturstudie fastställdes de slutgiltiga frågeställningarna och det

släckmedel som testades valdes ut. För att ha något att utgå från beräknades, i den mån det är möjligt, den teoretiska mängden släckmedel som förväntas krävas i respektive fall.

Därefter utfördes den andra huvuddelen av arbetet som innefattade empiriska försök. Försöken genomfördes i en fraktcontainer på MBS:s övningsfält i Revinge. Utifrån resonemang och idéer från tidigare genomförda arbeten skapades en grundlig försöksupställning med tillhörande beskrivning av mätutrustning och genomförande. Denna del av metoden presenteras mer utförligt i kapitel 5 *Empiriska försök*. De praktiska försöken genomfördes sedan och en stor mängd data erhöles.

Den slutgiltiga delen av arbetet bestod av att sammanställa, presentera och analysera resultaten. Rapporten färdigställdes och en presentation av arbetet genomfördes.

1.5 Målgrupp

Denna rapport riktar sig främst till personer inom eller med anknytning till räddningstjänsten men även till andra med intresse inom området. Beräkningar och teoretiska resonemang kan kräva grundläggande kunskaper inom områdena branddynamik och brandkemi.

1.6 Begränsningar

Rapportens tidsram och tillgänglig utrustning satte begränsningar i antal och typ av försök som var möjliga att genomföra. Grundtanken inför försöken var att praktiskt testa ett antal av räddningstjänstens olika släckmedel och metoder för att kunna jämföra dessa med varandra. Tiden för att genomföra de empiriska försöken blev kortare än planerat och därmed begränsades antalet släckmedel och metoder som var möjliga att studera. Rapporten omfattar inte försök där brandgasventilation användes som insatsmetod. Detta på grund av att försökscontainern endast hade en öppning och att skapa nya öppningar hade varit ett för stort ingrepp.

1.7 Avgränsningar

Området underventilerad brand berörs teoretiskt i rapporten men försöken avgränsades till att endast utvärdera en inledande räddningstjänstinsats. Stort fokus lades på backdraft då detta förlopp bedömdes vara det mest riskfyllda utfallet av en underventilerad brand. På grund av den begränsade tiden för de empiriska försöken avgränsades arbetet till att endast studera vatten som släckmedel. Ett fåtal påföringsmetoder av vatten berörs kvalitativt men de empiriska försöken avgränsades till att endast använda dimspik som påföringsmetod. Denna avgränsning gjordes för att få fler jämförbara resultat och därmed säkrare slutsatser. Tanken var att försöken skulle gälla allmänt för vatten och resultaten kunna generaliseras för liknande metoder.

2 Ventilationskontrollerad brand

När räddningstjänsten anländer till en mer omfattande brand är det ofta ventilationskontrollerade förhållanden de ställs inför. Dessa förhållanden uppstår då branden pågår i ett utrymme med begränsad ventilation vilket med tiden leder till brist på syre. Vid en sådan situation går brandförloppet inte till övertändning utan brandens intensitet minskar, temperaturen sjunker och förbränningseffektiviteten blir sämre. Bränsleytorna avsvagnar dock sakta och pyrolysen kommer att fortgå vilket gör att en stor mängd oförbrända pyrolysgaser fortfarande bildas. När räddningstjänsten gör en insats mot en ventilationskontrollerad brand finns grovt sett fyra olika utfall de kan mötas av. De fyra utfallen är att branden har självslocknat, att branden får syre och förloppet återupptas, att temperaturen i rummet är så hög att brandgaserna självantänder eller att en backdraft uppstår (Bengtsson, 2001).

Det första är ett av de vanligaste utfallen vid lägenhetsbränder och innebär att branden självslocknar. Detta kan ske om branden blir ventilationskontrollerad innan temperaturen blivit tillräckligt hög för att pyrolysera närvarande bränsleytor i utrymmet. Resultatet av detta scenario är att branden antingen dör helt eller övergår till en glödbbrand vilken oftast är okomplicerad att släcka för räddningstjänsten. Dock kan detta förlopp leda till stora skador på både egendom och människor då de är svåra att upptäcka och brandgaserna innehåller stora mängder giftiga gaser som exempelvis kolmonoxid. Omfattningen på detta scenario begränsas enklast genom en brandvarnare vilken bidrar till att branden upptäcks i ett tidigt skede och kan släckas (Bengtsson, 2001).

Det andra utfallet räddningstjänsten kan mötas av är att branden börjar växa då en öppning skapas och luft tillförs. I detta fall har branden hunnit sprida sig till fler föremål och en markant temperaturökning har skett i rummet vilken har medfört att det skett pyrolys från fler bränsleytor. I utrymmet finns nu en stor mängd oförbrända brännbara gaser och när brandmännen öppnar dörren eller ett fönster går sönder på grund av värmespänningar strömmar luft in i nedre delen av öppningen och brandgaser ut i den övre delen. Det nya syret gör att ursprungsbranden återigen flammar upp, antänder de brännbara gaserna och en flamfront rör sig genom rummet. Branden utvecklas nu som den hade gjort med fri tillgång till syre och kan gå till övertändning (Bengtsson, 2001).

Det tredje utfallet är ovanligt och innebär att brandgaserna självantänder. Detta kan ske om branden fortgått en längre tid innan den blir ventilationskontrollerad och temperaturen i utrymmet har nått upp över de brännbara gasernas termiska tändpunkt. Denna ligger vanligtvis runt 500-600°C. Om en öppning skapas kan luft strömma in och syre blanda sig med de varma brännbara gaserna som då kan självantända. För att detta scenario skall kunna uppstå krävs oftast att utrymmet har en liten öppning som kan förse branden med syre i begynnelsen så att temperaturen kan bli tillräckligt hög. Om självantändning av brandgaserna observeras kan öppningen till utrymmet stängas och då syret med tiden tar slut kommer lågorna att upphöra (Bengtsson, 2001).

Det fjärde utfallet som kan ske är att en backdraft uppstår. Backdraft är det största hotet mot räddningstjänsten vid en insats mot en ventilationskontrollerad brand då det är ett snabbt och våldsamt förlopp som kostat många brandmän livet världen över (Guigay, 2008). Eftersom backdraft

är det sämsta tänkbara utfallet ur räddningstjänstsynpunkt studeras detta närmare och en mer utförlig beskrivning av detta fenomen följer därför i resterande del av kapitlet.

2.1 Backdraft

Backdraft är ett komplext fenomen och det finns många liknande förslag på definitionen. ISO International Organization for Standardization definierar det som:

”Backdraft

rapid flaming combustion caused by the sudden introduction of air into a confined oxygen-deficient space that contains hot products of incomplete combustion.” (ISO/FDIS, 2008)

2.1.1 Bildandet av brännbara gaser

Då en brand startar i ett rum kommer den förhöjda temperaturen och strålningsintensiteten leda till att närliggande material börjar pyrolyseras och branden kan tillväxa. Det är när pyrolysgaserna blandas med syre som de förbränns i en diffusionsflamma. Pyrolysen startar för de flesta material vid temperaturer i intervallet 100-250°C. Under pyrolysen sker en kemisk sönderdelning från komplexa till enklare beståndsdelar vilka kan förbrännas. Alla pyrolysisprodukter förbränns inte i flaman utan en del av de brännbara gaserna förblir oförbrända och samlas i brandgaslagret. I början av brandförloppet är branden bränslekontrollerad men om rummets volym och därmed tillgången till syre är begränsande kommer branden övergå till att bli ventilationskontrollerad. Vid en normal rumsbrand är förbränningen alltid ofullständig vilket leder till att brännbara gaser med högt energiinnehåll produceras och ansamlas i brandgaslagret. Mängden brännbara gaser som bildas styrs av förbränningseffektiviteten vilken brukar anges med den grekiska bokstaven χ som vid fullständig förbränning är 1,0. Graden av ofullständig förbränning betecknas med $1-\chi$. Mängden brännbara gaser som produceras ökar när branden blir ventilationskontrollerad eftersom förbränningseffektiviteten då minskar (Bengtsson, 2001; Bengtsson & Karlsson, 1997). Om brandens intensitet minskar eller om den rent av dör ut på grund av syrebrist kan pyrolysen ändå fortgå med en relativt hög hastighet på grund av den höga temperaturen i utrymmet. Det betyder att bildandet av brännbara gaser fortsätter även efter att branden slocknat. (Bengtsson, 2001; Karlsson & Quintiere, 2000).

Det kan alltså sägas vara två bidragande orsaker till de ansamlade brännbara gaserna, dels produkter från den ofullständiga förbränningen och dels pyrolysgaser som inte är i kontakt med brandhärden utan förblir oförbrända (Bengtsson, 2001).

Mängd och typ av brännbara restprodukter som bildas styrs till stor del av vilket ämne som brinner. Till exempel har många plastmaterial ett högt energivärde och en hög grad av ofullständig förbränning. Förbränningseffektiviteten kan vara så låg som 0,5 vilket kan jämföras med metan som kan ha en förbränningseffektivitet närmare 1. Detta leder till att brandgaserna kommer att innehålla en stor mängd brännbara gaser med mycket oförbrukad energi. De senaste decennierna har byggbranschen börjat använda mer och mer plastbaserade material som till exempel cellplast vid byggnation. Detta har lett till mer komplicerade brandförlopp för räddningstjänsten (Bengtsson & Karlsson, 1997).

2.1.2 Tyngdkraftsstyrd strömning

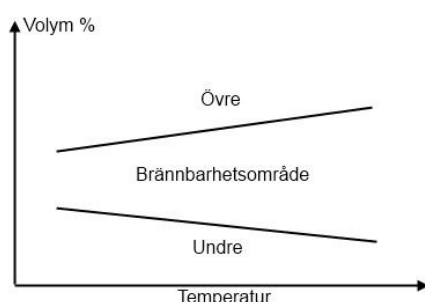
Om en öppning skapas till ett utrymme med en underventilerad brand kommer kall luft att strömma in i den undre delen av öppningen och varma brandgaser strömma ut i den övre delen. Denna inströmning av kall luft i det brandutsatta rummet är en viktig del i backdraftförloppet. Det har

genomförts ett antal arbeten för att karaktärisera detta. I denna rapport ges en enklare beskrivning av förloppet men för en utförligare beskrivning se exempelvis Guigay (2009) som studerar fenomenet med hjälp av CFD (computational fluid dynamics). CFD nyttjar matematiska ekvationer för att simulera fluiders karakteristiska strömning.

Strömningen som uppstår styrs av skillnader i densitet och därmed tyngdkraften. Resultatet blir att de brännbara gaserna blandas med syre till en brännbar blandning. Hur stor omblandningen blir och hur mycket luft som kommer in beror av flera faktorer, en av dessa är den inströmmade luftens hastighet. Hastigheten i sin tur beror exempelvis på rummets storlek, turbulens på grund av hinder, takhöjden, densitetsskillnaden och på öppningens utformning. En annan händelse som påverkar omblandningen är om den kalla luften slår mot den bakre väggen och vänder vilket resulterar i att omblandningen blir betydligt större. Ett större brännbart område kan då bildas och om en insats fördröjs efter att en öppning skapats kan det medföra en ökad risk. Med anledning av detta är det av stor vikt för räddningstjänsten att ha kunskap om vad som sker då en öppning skapas till ett brandrum (Bengtsson, 2001).

2.1.3 Brännbarhetsområde

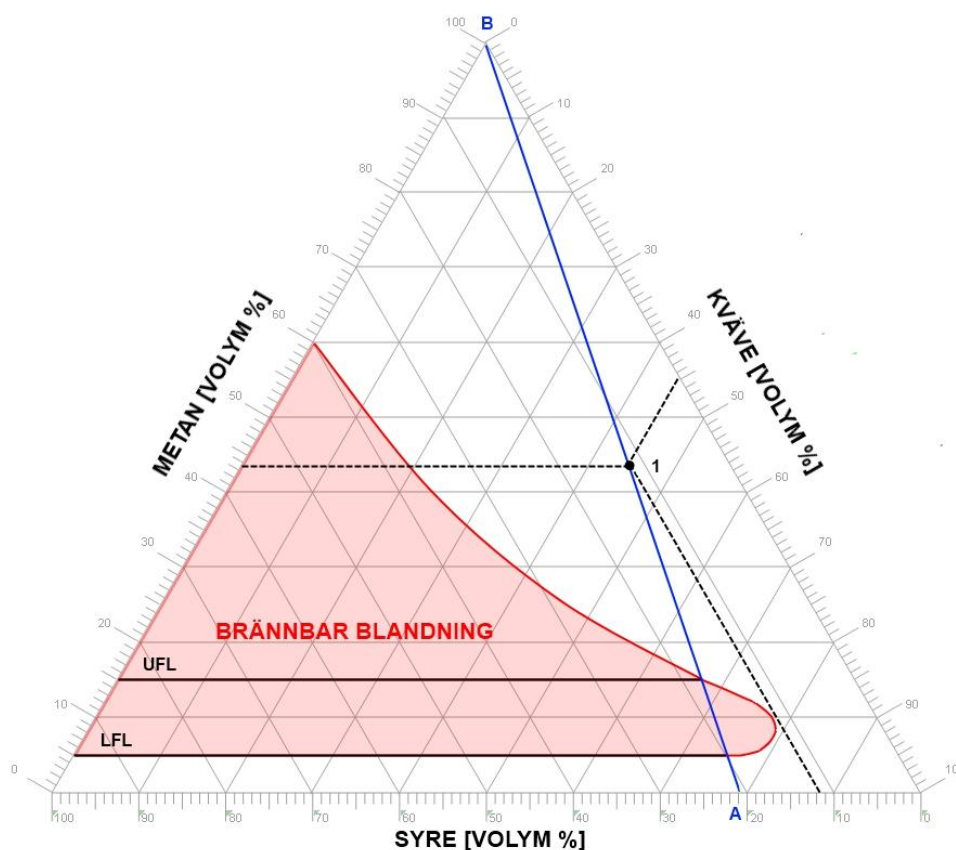
För att de oförbrända gaserna skall kunna antändas krävs det att de uppnår en viss koncentration som oftast mäts i volymprocent. Intervallet mellan den undre och den övre brännbarhetsgränsen kallas för brännbarhetsområdet och är beroende av vilket ämne som brinner men varierar också med temperatur enligt figur 2.1 (Bengtsson & Karlsson, 1997).



Figur 2.1. Brännbarhetsområdets temperaturberoende (Återskapad från Bengtsson & Karlsson, 1997).

Vid brand i ett slutet rum sker förbränningen med diffusionsflamma vilken med tiden blir underventilerad, avtar i intensitet och slutligen slocknar på grund av syrebrist. Under och även efter detta förlopp skapas en stor mängd brännbara gaser i utrymmet. Trots att koncentrationen av brännbara gaser är tillräckligt hög kan de inte antändas på grund av bristen på syre (Karlsson & Quintiere, 2000).

För att den höga koncentrationen av brännbara gaser skall kunna antändas krävs att förhållandena mellan bränsle, syre och inerta gaser ligger inom det brännbara området i figur 2.2. I denna figur åskådliggörs vilka förhållanden som krävs för att en blandning skall kunna antändas. Figuren presenterar ett teoretiskt exempel med metan som bränsle. Bränslet utgörs av metan eftersom detta är ett av få bränslen där hela brännbarhetsområdet är fastställt utifrån praktiska försök. I ett verkligt scenario skulle brännbarhetsdiagrammet se annorlunda ut eftersom blandningen i diagrammet skulle utgöras av en sammansättning av olika brännbara och icke brännbara restprodukter från förbränningen. Dock är principen densamma oavsett sammansättningen av bränsle (Drysedale, 1998).



Figur 2.2. Brännbarhetsdiagram som åskådliggör förhållandena som krävs för en brännbar blandning då bränslet utgörs av metan (Återskapad från Drysdale, 1998).

Punkt 1 i figuren representerar ett teoretiskt förhållande som skulle kunna råda efter en metanbrand i ett slutet utrymme. Förbränningen har upphört för att syrekonzentrationen är för låg, dock finns en stor mängd brännbara gaser kvar. I punkt 1 är masskoncentrationen metan i utrymmet 30 procent vilket svarar mot 43,6 volymprocent. I det här läget är blandningen inte antändbar eftersom den inte ligger inom det markerade området för en brännbar blandning. Men om luft tillförs utrymmet kommer punkten förflytta sig längs den blå linjen AB och nå den övre brännbarhetsgränsen på 15 procent (Guigay, 2008).

2.1.4 Antändning av den brännbara blandningen

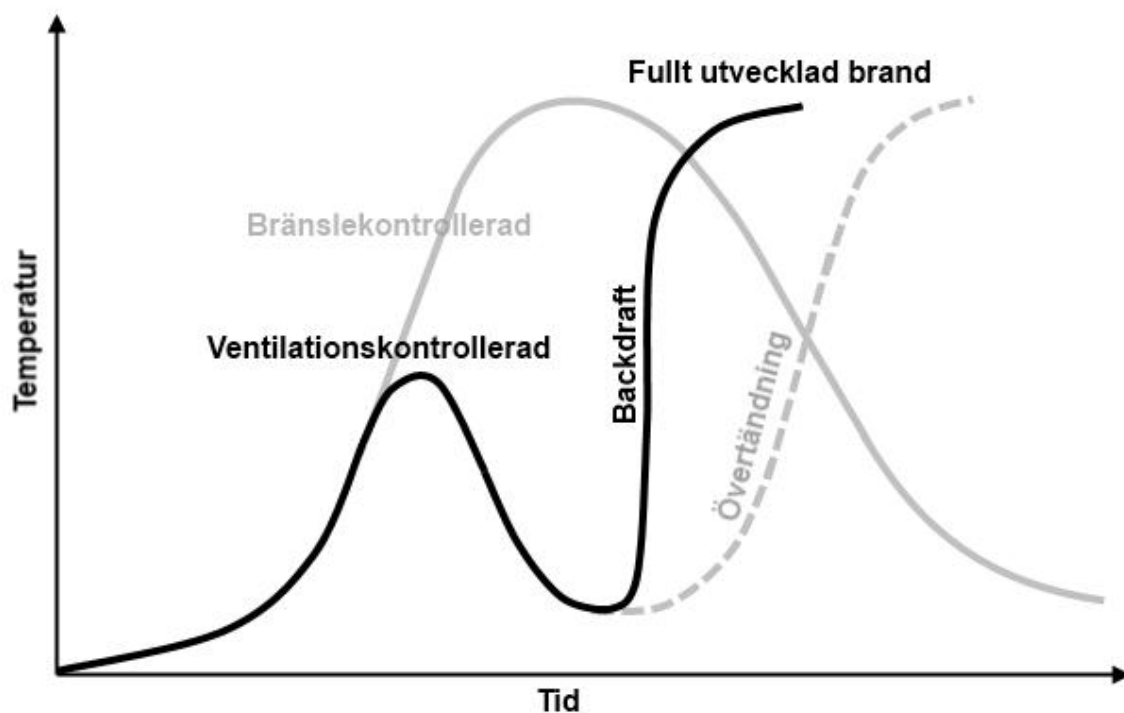
För att de brännbara gaserna skall kunna självantända krävs oftast en temperatur på 500 - 600°C. Om en tändkälla finns i rummet kan antändning ske vid en lägre temperatur och backdraft uppstå. Denna tändkälla måste uppnå en viss tändenergi vilken är svår att uppskatta men oftast räcker en gnista från en lysknapp eller ett lysrör. En annan tändkälla kan exempelvis utgöras av en glödbland vilken kunnat fortgå trots bristen på syre (Bengtsson, 2001).

Beroende på när under inströmningsförloppet som den brännbara blandningen antänds erhålls backdraft med varierad intensitet. Detta beror på att volymen brännbara gaser inom brännbarhetsområdet får olika storlek. Antändningen kan sägas ske vid tre olika tillfällen under förloppet, när luften är på väg in i rummet, när den har vänt vid väggen och är på väg ut eller när den redan lämnat rummet. Sker antändningen tidigt i förloppet när luften är på väg in antänds en mindre volym förblandade gaser i ytterkanten av den totala volymen brännbara gaser. Detta resulterar i att de varma förbränningsprodukterna stiger och pressar ner de brännbara gaserna i den syrerika luften vilka antänds och en snabb förbränning eller deflagration uppstår. Gaserna expanderar och trycker ut

de resterande brännbara gaserna genom öppningen vilka blandas med syret i luften och ett eldklot bildas. Om antändningen sker efter att brandgaserna hunnit slå i väggen och vända resulterar det i en större volym förblandade gaser som är inom brännbarhetsområdet och en kraftigare backdraft uppstår. Storleken på eldklotet beror på hur stor mängd brännbara gaser som hunnit produceras och ansamlas i brandgaslagret. Om antändningen fördröjs medför det att luftströmmen hinner lämna rummet och hela den nedre delen fylls av luft. Brännbara gaser kan då vara ansamlade vid taket ovanför dörrkarmen och antändas. Detta resulterar i en snabb flamspridning längs taket i form av ett eldklot. Intensiteten i detta förlopp är betydligt lägre eftersom mängden brännbara gaser är mindre då en större del har följt med luftströmmen ut. I det här fallet kan förhållandena i rummet inge en falsk säkerhet och man bör vara observant då även detta förlopp kan utgöra ett hot mot räddningstjänstpersonalen vid insats (Bengtsson, 2001).

2.1.5 Sammanfattning av förloppet

Backdraftförloppet kan enkelt beskrivas med hjälp av figur 2.3.



Figur 2.3. Schematisk figur över det ventilationskontrollerade brandförloppet (Återskapad från Bengtsson, 2001).

Ett brandförlopp som får fortgå med fri tillgång till syre kommer att följa den gråa linjen i diagrammet. Om branden istället uppstår i ett slutet rum med begränsad tillgång till syre kommer branden att bli ventilationskontrollerad och följa den svarta linjen. När brandens intensitet avtar kyls gaserna och minskar i volym, vilket medför att nytt syre sugas in. Brandens intensitet ökar då för att sedan avta igen då det nya syret är förbränt. Denna process upprepas och det pulserande beteendet är typiskt för en ventilationskontrollerad brand och stora mängder oförbrända gaser bildas om den höga temperaturen bibehålls i rummet (Bengtsson, 1999). Om en öppning skapas till rummet sker en turbulent tyngdkraftstyrd ström av kall luft in i utrymmet. De brännbara gaserna och syret kan då blandas till en brännbar blandning. Om denna kommer i kontakt med en tändkälla och antänds kommer en snabb förbränning eller deflagration att uppstå. Gaserna i rummet värms hastigt upp, expanderar och en kraftig tryckupbyggnad sker. Oförbrända gaser trycks då ut genom öppningen

och blandas med syret utanför till en brännbar blandning. När flammen arbetar sig ut genom öppningen antänds de oförbrända gaserna utanför rummet och ett eldklot, samt en tryckvåg skapas. Förloppet från den gravitationsstyrda inströmningen av kall luft till tryckvåg benämns backdraft (Gottuk, 1999; Guigay, 2009). Backdraftförloppet från det att öppning skapas och brandgaser strömmar ut genom öppningen tills dess att ett eldklot slår ut kan ses i bildserien från de empiriska försöken i figur 2.4.



Figur 2.4. Backdraftförloppet åskådliggjort i en bildserie från de empiriska försöken.

2.1.6 Kriterier som måste vara uppfyllda

En stor del av de arbeten som tidigare utförts inom området backdraft har haft som mål eller delmål att definiera vilka förhållanden som måste vara uppfyllda för att fenomenet skall kunna inträffa. Detta är betydelsefullt dels för att vidare kunna beskriva förloppet och dels för att få en förståelse kring vad som krävs för att förhindra att det inträffar. Det har genomförts en hel del försök där man studerat förloppet och utifrån flera av dessa har man kunnat dra vissa slutsatser vilka presenteras nedan.

- **Branden är ventilationskontrollerad**

Backdraft kan endast uppstå då luft tillförs en ventilationskontrollerad brand som producerat stora mängder brännbara gaser. En brand kan bli ventilationskontrollerad om den under en tid fått fortgå i ett tillslutet utrymme med begränsade läckage. Läckageöppningen till rummet får dock inte vara för liten eftersom branden då riskerar att kvävas innan tillräckligt med brännbara gaser producerats. Om öppningen är lagom stor kan branden fortgå en tid under ventilationskontrollerade förhållanden tills det att den nedre gränsen, LOI (Limiting Oxygen Index) under vilken förbränning inte kan ske, uppnås (Guigay, 2008). Det här kriteriet blir extra intressant i dagens samhälle där det finns en strävan efter att bygga välisolerade byggnader. De välisolerade husen kan innebära att högre temperaturer uppnås och att den höga temperaturen bibehålls under en längre tid vilket gör att backdraft lättare uppstår. De nya byggnaderna medför i de flesta sammanhang någonting positivt men kan alltså ur en brandteknisk synvinkel leda till mer komplicerade brandförlopp.

- **En tillräcklig massfraktion brännbara gaser**

Det har visat sig att mängden oförbrända gaser i utrymmet är en avgörande faktor för att backdraft skall kunna uppstå. Utifrån en rad experiment har man kunnat konstatera att det finns en nedre gräns för massfraktionen oförbrända kolväten i utrymmet under vilken backdraft inte kan inträffa. Fleischmann (1994) presenterar, utifrån de experiment han utfört, ett värde på denna gräns som är 0,10. Gottuk et al (1999) har genomfört fullskaliga experiment med diesel som bränsle och kommit fram till att det krävs en massfraktion på lägst 0,16 för att erhålla backdraft. Jimenez et al (2009) presenterar en jämförelse mellan försök genomförda av Fleischmann och Weng som använt samma försöksuppställning. Att de gjort liknande försök medför att det finns hela 41 stycken backdraftförsök som kan jämföras. Utifrån dem konstaterar Jimenez et al att backdraft verkar vara ett stokastiskt fenomen, det exakta förloppet kan inte förutsägas, men det kan tydligt påvisa att massfraktion kolväten är avgörande för om det skall kunna inträffa. Här undersöks också en del kring bränsletypens inverkan och det konstateras att bränslen med högre ordningens kolgedjor ger större risk för backdraft. Det kan därmed konstateras att typ av bränsle i rummet har en direkt inverkan på risken för backdraft. Flera av för författarna till tidigare genomförda arbeten är även eniga om att det finns en korrelation mellan mängden oförbrända kolväten och backdraftens intensitet (Fleischmann, 1994; Guigay, 2008; Jimenez et al, 2009).

- **En plötslig öppning som medför nytt syre**

Att en öppning skapas till utrymmet är en förutsättning för att en backdraft skall kunna inträffa. Detta kan till exempel ske genom att en dörr öppnas eller om ett fönster går sönder. När en öppning skapas sker en tyngdkraftstyrd tillströmning av syre in i rummet och en brännbar blandning kan skapas (Guigay, 2008).

- **Tändkälla**

För att de brännbara gaserna skall kunna antändas krävs att en tändkälla finns i rummet. Denna tändkälla kan till exempel utgöras av en glödbland som inte kvävs.

2.2 Tecken på ventilationskontrollerad brand

För att räddningstjänsten skall kunna genomföra en säker insats då de anländer till brandplatsen är det första steget att konstatera vilken typ av brand som råder. Detta genom att observera och tolka de signaler som branden uppvisar. Om räddningstjänsten lyckas identifiera dessa är en stor del av risken redan avvärdad eftersom man då kan välja rätt metoder utifrån det faktiska scenariot. Chitty (1994) presenterar ett antal tecken på underventilerad brand och därmed risk för backdraft vilka även konstateras av Guigay (2008) 14 år senare. Guigay presenterar detta i sin sammanställning av rekommendationer från projektet FIRENET. Detta var ett europeiskt forskningsprojekt, där ett flertal universitet deltog, för att studera och bidra till en ökad förståelse för underventilerade bränder och backdraft. Följande punktlista redovisar dokumenterade varningstecken för backdraft.

Från utsidan av brandrummet går följande indikatorer att identifiera redan innan några öppningar görs.

- **Brand i slutet rum**
När brand uppstår i ett slutet rum med begränsad ventilation finns förutsättningar för att branden ska bli underventilerad och bilda stora mängder oförbrända pyrolysisprodukter.
- **Oljiga deponeringar på fönster**
Är ett tecken på underventilerad brand då pyrolysisprodukter har kondenserats på de kallare fönstertygorna.
- **Varma dörrar, dörrhandtag och fönster**
Det krävs att en brand fortgått en längre tid för att dörrar, dörrhandtag och fönster skall ha blivit varma.
- **Pulserande brandgaser från små öppningar**
Pulserandet uppstår eftersom brandens intensitet ökar, rummet värms upp och trycket ökar när förbränning sker. När syret är slut avtar intensiteten, gasernas temperatur sjunker långsamt och när trycket minskar kan luft åter sugas in. Det nya syret gör att intensiteten återigen ökar och förloppet börjar om igen. Det är detta som skapar de pulserande brandgaserna från små öppningar.
- **Ett vislande ljud i öppningar**
Kan uppstå då branden pulserar.

Om beslutet att gå in i rummet tas, bör brandmännen vara observanta på följande signaler, speciellt i det ögonblick då dörren öppnas och man kan se in i brandrummet.

- **Ett orangefärgat sken från en dold brand eller en brand som inte syns alls**
Detta kan indikera att branden har pågått en längre tid med brist på syre. Även blå flammor kan ses då kolmonoxid brinner som ett resultat av ofullständig förbränning. "Ghosting flames" är ett fenomen som uppstår när oförbrända pyrolysisgaser lokalt blandas med syre och antänds slumpmässigt på olika ställen i rummet. Detta är också ett tecken på föreliggande backdraft då det indikerar att det finns oförbrända gaser i rummet.
- **Brandgaser dras tillbaka genom öppningen**
Detta indikerar att en gravitationsstyrd luftström har riktats in i rummet. De varma brandgaserna kommer att lämna rummet genom en högt placerad öppning, troligtvis inte genom den skapade. Den kalla ersättande luften dras in i rummet genom öppningen och rök på låg höjd kan dras mot branden på grund av den gravitationsstyrda strömningen.
- **Neutralplanet är beläget nära golvet**
Detta tyder på att stora mängder brandgaser producerats.
- **Ett vislande ljud kan höras**
Ljudet skapas då luft dras in genom små öppningar med hög hastighet på grund av tryckskillnader.

(Guigay, 2008; Chitty, 1994)

3 Släckmetoder

Att göra en insats mot en ventilationskontrollerad brand med risk för backdraft är inget ovanligt scenario. Dock utvecklas det sällan till backdraft vilket beror på att man idag är relativt bra på att kyla brandgaserna med vatten. Det är också så att det sällan produceras och ansamlas en tillräckligt stor mängd brännbara gaser samtidigt som en tändkälla finns närvarande (Bengtsson, 2001).

Räddningstjänsten har en rad olika insatstaktiker och påföringsmetoder av släckmedel till sitt förfogande. Valet av taktik beror framförallt på om det finns personer kvar i utrymmet men även på tillgängliga resurser, tillgänglighet till brandrummet och hur långt brandförloppet har fortskridit. Det finns två huvudsakliga inriktningar på taktik, antingen genomförs en inbrytning med rökdykare i utrymmet eller så tillämpas en insatsmetod där man begränsar, ventilerar och kyler från utsidan. Utbildningen av svenska brandmän och befäl är idag långt kommen och en stor kunskap finns kring att tolka signaler för att sedan kunna angripa bränder med bästa tillgängliga metod.

I en underventilerad situation där risk för backdraft föreligger är insatser från utsidan att föredra eftersom inbrytningar i utrymmet medför tillförsel av syre och kan därmed skapa förutsättningar för en backdraft. Dock finns det situationer då räddningstjänsten måste ta sig in i det aktuella utrymmet, till exempel för att rädda liv. Detta bör då med fördel genomföras i kombination med någon förebyggande taktik så som brandgasventilation och/eller kylning av brandgaserna.

För att kunna utvärdera hur effektiva räddningstjänstens metoder är vid en inledande insats mot en underventilerad brand och potentiell backdraft, utförs en grundligare genomgång av tidigare utfört arbete inom området. Litteraturstudien avgränsas till att endast studera arbeten som är utförda med syftet att förhindra backdraft, då detta är det värsta utfallet vid en räddningstjänstinsats mot en ventilationskontrollerad brand. Litteraturstudien genomförs för att få en ökad kunskap om de möjliga metoderna och framförallt för att se om någon tidigare kunnat mäta olika metoders effektivitet.

I det här kapitlet följer en sammanställning av tidigare arbete inom området att förhindra en förestående backdraft.

3.1 Befintligt arbete

Litteraturstudiens genomförande beskrevs i metoden. Under denna gick det endast att finna arbeten som studerat och utvärderat någon form av vattendimma eller ventilation. Detta beror troligtvis på att dessa metoder idag är de mest vedertagna för att förhindra en backdraft. Inget arbete är funnet som praktiskt testat, de för räddningstjänsten, tillgängliga släckmetoderna. Praktiska tester har genomförts med vattendimma men då med sprinkler som påföringsmetod.

3.1.1 Gottuk et al, 1999: The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study

Den här rapporten studerar backdraftförloppet och vilken potential vattendimma har för att förhindra en backdraft. Rapporten bygger på fullskaliga försök i två olika miljöer, den ena försöksserien utfördes i en försökslägenhet som ventileras direkt ut i det fria. Den andra utfördes i ett rum på ett fartyg tillhörande US Navy som ventileras till angränsande rum. Under försöken varierades ventilationsförhållandena i det angränsande rummet för att studera vilken inverkan detta hade på utvecklingen och intensiteten på backdraftförloppet.

Försöken på fartyget genomfördes i tre olika utföranden, alla i ett 35 m³ stort brandrum och storleken på det angränsande rummet varierades mellan 191, 104 och 20 m³. Tester utfördes både med och utan mekanisk ventilation av det angränsande rummet. Bränslet utgjordes av en dieselspray och försöken började med en förbrinningstid med välventilerade förhållanden tills stationära förhållanden inställt sig. När detta skett stoppades bränsletillförseln och dörrarna stängdes. 60 sekunder efter att bränsletillförseln stängts av, tillfördes en känd mängd dieselspray som tilläts förångas. Denna blandade sig sedan med förbränningsgaserna i 120 sekunder innan dörrarna öppnades. I de försök då vattendimmans effekt studerades påfördes denna, med hjälp av ett 120° munstycke som var placerat centralt i taket, 30 sekunder efter att bränslet tillförts för andra gången. Försöksutförandet skedde på samma sätt i testlägenheten som ventilerades direkt till det fria. Testerna utfördes med en massfraktion bränsle som varierades mellan 0,05 och 0,21, de flesta försöken utfördes dock med en massfraktion över 0,18.

Från försöken avlästes en del generella resultat för tidpunkten då dörren öppnades. Till exempel var medeltemperaturen i rummet 380-420°C, stålkonstruktionens yttemperatur 390-450°C, medelkoncentrationen syre 0,5-1,0 procent och fördröjningen från det att dörren öppnades tills eldklotet slog ut 15-23 sekunder.

Resultaten visade även att temperaturuppbyggnaden i det angränsande rummet varierade mycket beroende på om det ventilerades eller inte, temperaturskillnader på uppemot 60°C kunde påvisas. Från de försök då ventilationen var helt avstängd i det angränsande rummet kunde det utläsas att detta inte mildrade backraften som man hoppats på. Det konstaterades även att det angränsande rummets storlek hade större inverkan än ventilationen då mätningar visade att backraftens intensitet ökade när rummets volym minskade. Utifrån resultaten konstaterades att avstängd ventilation inte mildrar backdraft utan endast ger sämre förhållanden och därför bör detta inte tillämpas vid insats.

Samtliga resultat visade att det finns en korrelation mellan massfraktionen bränsle och uppkomsten av backdraft, det konstaterades att det krävdes en massfraktion högre än 0,16 för att en dieselbackdraft skall uppstå. Av 27 genomförda test med en massfraktion större än 0,18 resulterade alla utom en i backdraft med eldklot.

Både försöken med ventilation direkt till det fria och de i rummet på fartyget visade att tillförsel av vattendimma var ett effektivt sätt att mildra backdraftförloppet. Försöken visade även att när mängden påfört vatten ökades så minskade backraftens intensitet, från ett eldklot som slog ut genom dörren till att antändning helt uteblev. Den ökande förmågan att mildra och förhindra backdraft med ökad mängd påfört vatten korrelerar väl med massfraktionen bränsle i rummet. När det förångade vattnet blandas med brandgaserna sänks massfraktionen bränsle och dessa försök visade att det krävs en massfraktion större än 0,16 för att backdraft skall uppstå. I försöken som genomfördes med vattendimma varierades massfraktionen bränsle mellan 0,19–0,25 innan påföring av vatten. Massfraktionen var därmed över den kritiska i samtliga försök.

Testresultaten visade att det främst är på grund av utspädning som vattendimman mildrar backdraftförloppet och inte på grund av temperatursänkning. Detta resultat stärktes teoretiskt genom att brännbarhetsdiagram studerades, där vattenångan kan ses som en inert gas som vid tillräcklig mängd gör att blandningen hamnar under brännbarhetsområdet oavsett hur mycket syre som tillförs. Under hela försöken mättes temperaturen och temperaturkurvorna för försök med och

utan vattendimma jämfördes. Utifrån denna jämförelse kunde det konstateras att vattendimman hade en liten inverkan på temperaturen och i många fall var det mindre än 10°C skillnad då dörren öppnades. Även detta resultat stärker slutsatsen om att det främst är på grund av utspädning som vattendimma mildrar och förhindrar backdraft (Gottuk et al, 1999).

3.1.2 Guigay et al, 2008: The Use of CFD Calculations to Evaluate Fire-Fighting Tactics in a Possible Backdraft Situation

Denna rapport utvärderar klassiska räddningstjänsttaktiker genom att använda CFD-modellering. Målet med studien var att utvärdera de utvalda metoderna samt att visa på hur CFD kan användas vid utbildning av brandmän.

En byggnad med volymen 134 m³ utförd i tre rum skapades och grundscenariot innebar att en brand pågått en längre tid och slocknat på grund av syrebrist. En stor mängd oförbrända gaser fanns kvar och var jämnt fördelat i de tre rummen, temperaturen och gaskoncentrationerna var därför de samma i samtliga rum. Temperaturen innan dörren öppnades sattes till 573 K och massfraktion metan till 0,30. För att få ett mått på hur bra respektive metod är jämfördes resultat för volymen gaser inom brännbarhetsområdet och tiden för att ventileras bort de brännbara gaserna. De metoder som testades var naturlig ventilation, trycksättning med hjälp av fläkt (PPV) och utspädning med hjälp av vattendimma. Nedan presenteras de olika scenarierna.

- Scenario 1: Ett referensscenario utan åtgärder.
- Scenario 2: Brandmän går in i byggnaden för att rädda liv.
- Scenario 3: Naturlig ventilering av byggnaden genom ett fönster på baksidan av byggnaden.
- Scenario 4A: Mekanisk ventilation med hjälp av fläkt (PPV) med flödet 3,73 m³/s.
- Scenario 4B: Mekanisk ventilation med hjälp av fläkt (PPV) med högt flöde, 5,38 m³/s.
- Scenario 5: Felaktigt användande av fläkt med högt flöde, 5,38 m³/s (Ingen utströmningsöppning).
- Scenario 6: Utspädning av de oförbrända gaserna genom insprutning av vattendimma innan dörren öppnas. Fyra olika nivåer av utspädning simuleras, från 25 % till 10 % oförbrända gaser.

För att simulera försöken användes huvudsakligen CFD-koden FDS (Fire Dynamics Simulator) som använder sig av modellen LES (Large Eddy Simulation). LES-modeller användes eftersom de ansågs vara bra på att hantera omblandning, vilket är viktigt då backdraftförloppet studeras.

Ett problem med att använda CFD för att simulera ett backdraftförlopp var att det inte fanns submodeller som kunde hantera förblandade förhållanden och deflagrationer. Därför genomfördes simuleringarna med FDS förbränningsmodell avstängd vilket medför att ingenting brinner. Istället studerades endast när blandningen av metan och luft var inom brännbarhetsområdet.

Resultaten visade att användandet av fläkt för att ventileras bort de oförbrända gaserna är mycket effektivt, om det görs på rätt sätt. Risken för backdraft ökade under de först sekunderna, på grund av ökad tilluft och kraftig omblandning, för att sedan hastigt avta. Att använda en fläkt kräver kunskap och erfarenhet eftersom scenario 5 tydligt visade riskerna med ett felaktigt användande av fläkten. Scenariot visade tydligt att ett mycket välomblandat och brännbart förhållande varade under en lång tid. Om det kan säkerställas att inga människor finns kvar i byggnaden har simuleringarna visat att naturlig ventilation fungerar bra. De oförbrända gaserna kan antändas utanför öppningarna och en beredskap för att släcka dessa bör finnas, men för övrigt är det en säker metod.

I fallet med vattendimma konstaterades redan innan försöken, utifrån tidigare litteratur, att utspädningen är den huvudsakliga släckeffekten framför den termiska. Dock sker en kylning av brandgaserna vilket medför att de kan vara svårare att sedan evakuera eftersom den gravitationsstyrda strömningen då går långsammare. Beräkningar genomfördes för att se hur stor mängd vatten som krävdes för att späda den ursprungliga blandningen med massfraktion metan 0,30 till 0,25, 0,20, 0,15 och 0,10. Resultatet av beräkningarna visade att det behövdes 16,1 kg för späda massfraktionen metan till 0,25 och 160,9 kg för att späda till 0,10. Denna mängd jämfördes sedan med en energiberäkning för att uppskatta hur stor den kylande effekten blev. Det konstaterades att det endast behövdes 7,3 kg vatten för att kyla alla gaser från ursprungliga 300°C till 100°C. Eftersom den för kylningen framräknade mängden vatten, 7,3 kg, är mindre än det lägsta uträknade värdet 16,1 kg för utspädningen antogs temperaturen vara 100°C i alla försöken med vattendimma.

Resultaten från simuleringarna med vattendimma visade att volymen gaser inom brännbarhetsområdet fortfarande växte efter 80 sekunder. Detta berodde på att brandgaserna även kylades, förlorade drivkraft och fick möjlighet att blandas med syre, under en längre tid i utrymmet. Detta menar författarna är ett tecken på att utspädningen är en långsam process i förhållande till de andra testade metoderna. Trots detta anser författarna att utspädning med hjälp av vattendimma är en mycket effektiv metod och då framförallt om inerteringsgränsen uppnås. De konstaterar också att det är viktigt att så lite luft som möjligt tillåts strömma in under påförandet av vattendimman. Därför menar de att verktyg som dimspik och skärsläckare är att föredra. De har dessutom tillräcklig påföringshastighet för att snabbt uppnå tillräcklig utspädning (Guigay, 2008).

3.1.3 Weng, Fan, 2002: Experimental Study on the Mitigation of Backdraft in Compartment Fires with Water Mist

Den här rapporten bygger på backdraftförsök med syfte att utvärdera vattendimmas möjlighet att förhindra backdraft vid brand i ett slutet rum.

Försöken utfördes i ett nerskalat rum för att begränsa riskerna och för att kunna få mer exakta mätvärden. Rummet som användes vid försöken hade måtten 1,2m x 0,6m x 0,6 m och väggarna utgjordes av dubbla stålskivor med mellanliggande isolering. Till försöksrummet kunde åtta olika öppningar skapas med varierande geometri och placering. Mätdata för temperatur, tryckupbyggnad i rummet, flöde av bränsle och vattendimma, olika ämnens koncentrationer samt flöde i öppningen registrerades under försöken.

Försöken startades med att samtliga initiala mätvärden registrerades, därefter antändes brännaren och dörren stängdes. En känd mängd vattendimma tillfördes genom ett sprinklerhuvud placerat centralt i taket. Vattendimman tilläts sedan blandas med brandgaserna. Efter en förutbestämd tid öppnades dörren och vid denna tidpunkt stängdes bränsleflödet av. Som tändkälla användes en elektriskt uppvärmd metalltråd som var påslagen under hela försöket. Det genomfördes referensförsök med samma tillvägagångssätt men utan tillförsel av vattendimma för att kunna utläsa dess inverkan.

Vid det tillfälle då dörren öppnades noterades följande mätdata och dessa är tagna från samtliga försök, både med och utan vattendimma. Massfraktionen syre var 10,5-14,6 procent, temperaturen i brandgaslagret var 94-210°C och massfraktionen bränsle beräknades till 6,8-12,2 procent.

Utifrån registrerade mätvärden konstateras att massfraktionen kolväten är nyckelparametern för att backdraft skall uppstå och att intensiteten ökar med massfraktionen. Mätvärdena visar att det skedde en temperatursänkning då vattendimma tillfördes dock återhämtade sig temperaturen fort och vid öppningstillfället var skillnaden liten mellan försöken med och utan vattendimma. Temperaturen blir till och med högre i några av försöken med vattendimma. Dock visade resultaten att en ökad mängd tillförd vattendimma medförde att backdraftens intensitet minskade och tillfördes tillräckligt mycket så förhindrades backdraft helt. Utifrån registrerad mätdata kunde det konstateras att den minskade intensiteten orsakades av att det förångade vattnet spädde ut brandgaserna och massfraktionen kolväten sänktes.

Utifrån resultaten från de utförda försöken konstaterades att vattendimma är en bra metod för att mildra eller förhindra backdraft vid lägenhetsbränder. Den mildrande effekten beror dock inte på att vattnet har en kylande effekt utan på att vattenångan blandas med de oförbrända gaserna och sänker massfraktionen kolväten så att backraften mildras eller till och med förhindras (Weng & Fan, 2002).

3.2 Slutsats befintligt arbete

Under litteraturstudien hittades inga tidigare arbeten som praktiskt testar räddningstjänstens släckmetoder. Detta stärker arbetets grundläggande syfte att praktiskt undersöka olika metoders effektivitet mot en underventilerad brand och förestående backdraft. Det arbete som gjorts är dock användbart och i de tre rapporterna dras en rad intressanta slutsatser.

Det konstateras att ventilation är en effektiv metod om det används på rätt sätt. Dock kan det förvärra situationen om ingen frånluftsöppning finns tillgänglig.

Gällande vattendimma har det i samtliga fall konstaterats att det är utspädningen som är den huvudsakliga orsaken till att backraften mildras eller rentav förhindras och inte temperatursänkningen. Resultat från försöken har visat att den temperatursänkning vattendimman åstadkom återhämtade sig fort, medan utspädningen var tillräcklig för att backraften skulle förhindras. Det kan också konstateras att detta korrelerar väl med det faktum att det finns en nedre gräns för massfraktionen kolväten då backdraft inte längre kan inträffa. När mängden påförd vattendimma ökar, kommer massfraktion kolväten att minska och backraften blir svagare, påförs tillräckligt med vatten uteblir backraften helt (Gottuk et al, 1999; Weng & Fan, 2002).

De försök genomförda av Guigay et al (2008) som testar utspädning med hjälp av vattendimma bygger till stor del på teoretiska beräkningar. Författarna presenterar en slutsats som säger att risken för backdraft kvarstannar under en längre tid om utspädningen är otillräcklig. Detta bygger på de beräkningar som visat att med utspädningen följer en temperatursänkning på 200°C. Om gaserna i rummet kyles så mycket kommer den densitetsdrivna evakueringen av oförbrända gaser att gå mycket långsammare och därmed kvarstår risken en längre tid. Att brandgaserna kyles med 200°C kan jämföras med de två andra studerade rapporterna som presenterar liknande temperaturer mellan försök med och utan vatten vid öppningstillfället. Om temperaturskillnaden är så liten som de andra rapporterna presenterar skulle brandgaserna evakueras fortare och risken för backdraft skulle inte kvarstå lika länge.

Guigay et al (2008) presenterar också att det är av stor vikt att så lite syre som möjligt tillåts strömma in i brandrummet då vattendimman påförs. De rekommenderar därför att dimspik och eller skärsläckare används.

3.3 Val av släckmedel att utvärdera

Detta avsnitt redogör för de släckmedel och metoder som väljs ut för att experimentellt testas och utvärderas. Valet av metoder sker utifrån litteraturstudien och i diskussion med Stefan Svensson vid MSB, med stor erfarenhet av räddningstjänstarbete och insatsmetodik.

I tidigare arbete har ventilation som metod för att mildra och förhindra backdraft studerats. Resultaten påvisar att detta kan vara en bra metod om den används på rätt sätt. Att titta närmare på ventilation skulle vara intressant, men som tidigare nämnts avgränsas detta arbete till att inte studera just ventilation. Anledningen till detta är att containern vilken användes som försöksrum, i dagens utförande, inte har någon öppning för frånluft. Att bygga om containern vore både kostsamt och tidskrävande och ryms därför inte inom ramen av ett examensarbete.

Även vattendimma som släckmedel har studerats i tidigare arbeten och resultaten från dessa studier har visat att det är en effektiv metod för att förhindra backdraft. I de utförda arbeten som praktiskt utvärderar vattendimmans effektivitet har denna tillförts via ett sprinklerhuvud centralt placerat i taket i brandrummet. Denna påföringsmetod är inte möjlig för räddningstjänsten, dock så är vatten det mest använda släckmedlet och en rad olika metoder finns tillgängliga. Med grund i detta har det i samråd med Stefan Svensson beslutats att de praktiska försöken i huvudsak skall utföras med inriktning att utvärdera olika insatsmetoder med vatten.

I samtliga rapporter som utvärderat vattendimmans förmåga har det konstaterats att det är utspädningen som är den huvudsakliga orsaken till att backraften mildras eller rentav förhindras och inte den termiska. Med anledning av detta anses det intressant att studera vilken inverkan tillförseln av en inert gas med mindre termisk inverkan än vatten skulle ha på backraftförloppet. Den begränsade tidstillgången i kombination med att det främst är räddningstjänstens släckmetoder som studeras gör att sådana försök ej kommer att genomföras.

Utifrån ovanstående resonemang beslutas att det endast kommer att vara släckmedlet vatten som testas praktiskt.

4 Vatten som släckmedel

Vatten är idag räddningstjänstens dominerande släckmedel vilket beror på en rad faktorer så som låg kostnad, enkelt att förvara och transportera, lättillgänglighet, lätt att applicera, ingen miljöpåverkan och dess goda släckegenskaper. Att vatten erbjuder goda släckmöjligheter beror till stor del på dess fysikaliska egenskaper. Det krävs mycket energi för att omvandla vatten från dess ursprungliga flytande form till gasfas vilken tas från brandgaserna eller de ytor som träffas och medför att de kyls. Då vattnet är i gasfas erhålls en annan form av släckegenskap då vattenångan fungerar som inert gas vilket är effektivt i fallet med förblandade förhållanden.

Den utrustningen som oftast används för att applicera vatten är lågtryckssystem och strålrör. I en underventilerad situation blir det då tal om att kyla brandgaserna. Idag har räddningstjänsten även tillgång till högtryckssystem vilket medför att en mindre droppstorlek som mer liknar vattendimma kan användas. Detta leder till nya möjligheter vid kylning och utspädning av brandgaserna. Problematiken med klassiska strålrör är att en öppning måste skapas till utrymmet vilket medför förutsättningar för ett förvärrat brandförlopp. Trots detta förekommer insatser där brandgaserna kyls med hjälp av traditionell strålrörsteknik innan en inträngning sker i ett underventilerat brandrum. För att kunna genomföra detta utan att utsätta sig för en alltför stor risk finns utarbetade metoder som går ut på att dörren öppnas, vatten påförs och dörren stängs igen, vilket upprepas ett antal gånger tills rummet anses säkert. Som komplement till de traditionella påföringsmetoderna med strålrör finns det idag en rad olika avancerade system som kan göra en insats både säkrare och effektivare. Några av dessa verktyg gör att insatsen kan ske från utsidan utan att behöva utsätta sig för risken som en inträngning i rummet medför. Hit hör dimspik och skärsläckare vilka båda förväntas vara effektiva mot en ventilationskontrollerad brand (Särdqvist, 2006).

4.1 Egenskaper vid släckning

Då en ventilationskontrollerad brand skall bekämpas med hjälp av vatten samverkar en rad släckmekanismer. Det är en invecklad process men förenklat kan den sägas bestå av tre huvudkomponenter, absorption av värmestrålning, kylning av brandgaserna samt utspädning då vattnet förångas. Absorptionen av värmestrålning leder till att återstrålningen mot bränslet blir lägre och pyrolysen minskar, vilket gör att en mindre mängd brännbara gaser bildas. Den direkta kylningen resulterar i att reaktioner går långsammare, brännbarhetsområdet blir mindre och pyrolysen i rummet avstannar. Då vattnet övergått till ånga får det även gasfasverkan vilket innebär att bränslekoncentrationen sänks samtidigt som vattnet bidrar med termisk barlast och tar energi från förbränningen. Alla bidragande orsaker medför att reaktionshastigheten blir så låg att förbränningen inte kan fortgå eller i fallet med underventilerad brand inte starta igen (Särdqvist, 2006; Bengtsson, 2001).

I specialfallet backdraft är den grundläggande förutsättningen att de brännbara gaserna blandas med syre och den förblandade blandningen antänds. Förloppet går sedan väldigt fort och när antändning väl skett är det redan för sent att stoppa med räddningstjänstens metoder. Det kan därför konstateras att en släckinsats måste genomföras redan innan backdraftförloppet startar. Detta är inte särskilt svårt i teorin och det som krävs är att släckmedlet har egenskaper som kan förhindra att en antändning av de förblandade gaserna sker.

4.1.1 Vattnets kylande effekt

Vid en ventilationskontrollerad brand finns en stor mängd bränsle i gasfas. Vid en släckinsats är en av de eftersträlvade effekterna med vattnet att kyla detta bränsle (Bengtsson, 2001). Kylningen blir effektivast om allt vatten förångas i brandgaserna eftersom energin som krävs då tas från dessa. Genom att kyla den brännbara gasblandningen kommer reaktioner att gå långsammare och den kommer inte längre innehålla en lika stor mängd energi (Särdqvist, 2006). Kylningen medför också att gasblandningens brännbarhetsområde blir mindre, enligt tidigare resonemang i kapitel 2.1.3 *Brännbarhetsområde*, och därmed inte lika lättantändlig. Om temperaturen sänks kommer även pyrolyshastigheten att minska succesivt för att så småningom avstanna helt. Detta leder till att mängden brännbara gaser inte längre ökar.

Vattnets goda termiska släckförmåga beror på att det kan förekomma i samtliga aggregationsformer vid naturliga förhållanden. Uppvärmningsprocessen för att nå upp till brandgasernas temperatur är uppdelad i tre steg. Först skall vattnet värmas från omgivningens temperatur upp till kokpunkten 100°C, sedan skall vattnet förångas och slutligen fortsätter uppvärmningen tills vattenånga och brandgaserna antagit samma temperatur. Denna process kräver mycket energi vilken tas från de ytor vattnet kommer i kontakt med samt från de varma brandgaserna. Eftersom vattnets ångbildningsvärme är hög, 2260 kJ/kg, kommer den största energiåtgången krävas vid fasomvandlingen (Särdqvist, 2006).

Det går att uppskatta hur stor kylande effekt vattnet har genom att ställa upp en energibalans, där energin som går åt för att värma och förånga vattnet tas från brandgaserna. Om denna energibalans skall gälla måste allt vatten förångas i brandgaserna innan det kommer i kontakt med rummets heta ytor. Energibalansen för detta förlopp anges i ekvation 1, där vänsterledet representerar den energi som krävs för att vattnet skall genomgå de tre stegen och anta samma temperatur som brandgaserna. Högerledet representerar den energi som under förloppet tas från brandgaserna (Särdqvist, 2006).

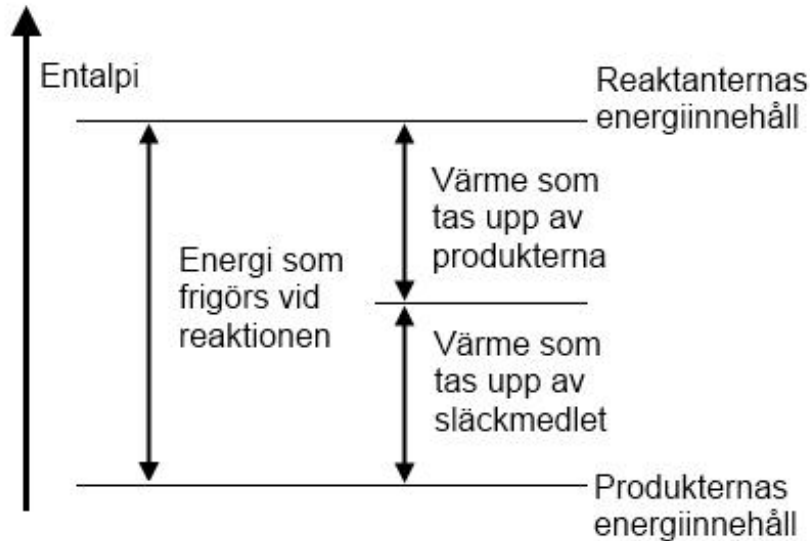
$$m_v c_{p,v} (373 - T_v) + L_{v,v} m_v + m_v c_{p,a} (T_{g,slut} - 373) = \Delta T_g c_{p,g} V_g \rho_g \quad \text{Ekvation 1}$$

4.1.2 Vattnets utspädande effekt

Eftersom det inledande målet med släckinsatsen är att förhindra antändning av förblandade gaser är vattnets utspädande effekt särskilt relevant. Då vattnet övergår till vattenånga får det egenskaper som kan jämföras med ett gasformigt släckmedel. Om en brand skapat en stor mängd brännbara gaser i ett tillslutet utrymme och sedan slocknat på grund av brist på syre finns det förutsättning för att en förblandad förbränning skall kunna ske. Detta kan dock inte inträffa förrän nytt syre introduceras till de brännbara gaserna. Genom att då tillföra en inert gas, i detta fall vattenånga, i tillräcklig mängd kan gasblandningen inte brinna oavsett tillförsel av syre.

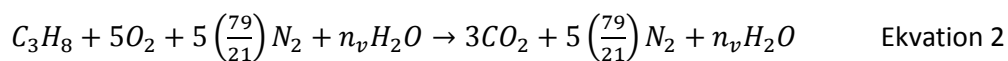
Att förbränningen kan förhindras genom utspädning beror på en rad komplexa och samverkande effekter. Den slutliga orsaken till att en flamma inte kan fortgå beror dock på att reaktionshastigheten blir för låg. Detta uppnås dels genom den direkta effekten av att koncentrationerna bränsle och syre i rummet minskas, flammen utarmas och reaktionshastigheten minskar linjärt. Den andra delen är dock den mest avgörande och innebär att vattenånga i utrymmet fungerar som termisk barlast. För att en förbränning skall kunna fortgå krävs att den energi som utvecklas räcker till för att värma upp produkterna och släckmedlet. Om släckmedelskoncentrationen och därmed den termiska barlasten blir tillräckligt hög kommer den att

ta upp en för stor del av energin och förbränningen kan inte fortgå eller som i fallet med ventilationskontrollerad brand aldrig starta igen. Detta åskådliggörs schematiskt i figur 4.1 där den energi som krävs för att reaktionen skall kunna fortgå står i relation till värmets som krävs till produkterna och släckmedlet (Särdqvist, 2006).



Figur 4.1. Schematisk bild av energin som krävs för att en adiabatisk reaktion skall kunna fortgå (Återskapat från Särdqvist, 2006).

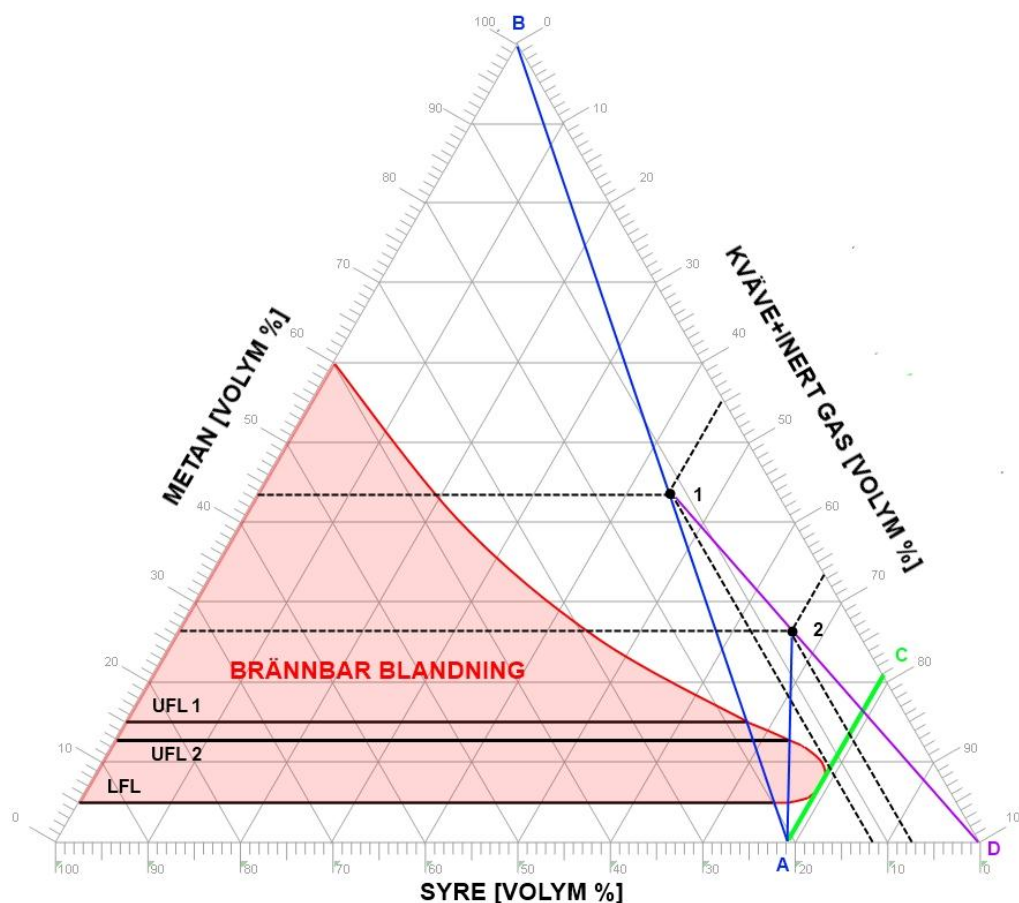
Den lägsta släckmedelskoncentration som krävs för att blandningen skall bli obrännbar oavsett förhållandet mellan bränsle och luft kallas inerteringsgräns. Denna inerteringsgräns är beroende av temperaturen i brandrummet och blir högre med ökande temperatur. Den går att beräkna med hjälp av en förenklad kemisk reaktion och den adiabatiska flamtemperaturen. Att branden är adiabatisk är endast teoretiskt och innebär att all energi som frigörs går åt till att värma upp produkterna och släckmedlet utan förluster till omgivningen. Detta blir användbart eftersom det har visat sig att alla flammor med kolväten som bränsle slocknar runt en adiabatisk flamtemperatur på 1500-1600 K. Om temperaturen sjunker under denna blir reaktionshastigheten för låg och förbränningen kan inte fortgå. Genom att först ställa upp en förenklad stökiometrisk reaktionsformel och sedan addera släckmedel som inte deltar i reaktionen, kan samtliga ingående ämnens molantal beräknas. I ekvation 2 presenteras ett exempel på en reaktion med propan som bränsle och vatten som släckmedel (Särdqvist, 2006).



Därefter ställs en adiabatisk energibalans upp, ekvation 3, där energin som utvecklas vid reaktionen går åt till att värma upp produkterna och släckmedlet. I fallet med vatten måste en term som beskriver energin för att förångas vattnet läggas till. Denna term blir endast aktuell då vatten förångas i brandgaserna eftersom denna energi annars tas från heta ytor i rummet och den brännbara blandningen då endast behöver värma upp det redan förångade vattnet (Särdqvist, 2006).

$$\Delta H_c = \Delta T \sum n_p c_{p,p} + \Delta T \sum n_e c_{p,e} + n_v l_{v,v} \quad \text{Ekvation 3}$$

Nedan följer ett teoretiskt resonemang, utifrån figur 4.2, kring hur spädningen påverkar backdraftförloppet. Enligt tidigare diskussion kring brännbarhetsdiagrammet skulle ett verkligt förlopp vara mycket mer komplicerat men principen är fortfarande applicerbar.



Figur 4.2. Brännbarhetsdiagram för metan. Punkt 1 motsvarar ett möjligt förhållande under en ventilationskontrollerad metanbrand. I punkt 2 har inert gas tillförts så att bränslekonzentrationen sänkts (Återskapad från Drysdale 1998).

Punkt 1 i figur 4.2 representerar ett teoretiskt förhållande som skulle kunna råda efter en metanbrand i ett slutet utrymme. Förbränningen har upphört för att syrekonzentrationen är för låg, dock finns en stor mängd brännbara gaser kvar. I punkt 1 är masskonzentrationen metan i utrymmet 30 procent vilket svarar mot 43,6 volymprocent. I det här läget är blandningen inte antändbar eftersom den inte ligger inom det markerade området för en brännbar blandning. Men om luft tillförs utrymmet kommer punkten förflytta sig längs den blå linjen AB och passera genom det brännbara området med en övre brännbarhetsgräns på 15 procent.

Om en inert gas tillförs utrymmet innan luft tillåts strömma in kommer punkten istället förflytta sig längs den lila linjen mot punkt D. En viss mängd tillförd inert gas medför att blandningen flyttas till punkt 2. Om luft då tillförs kommer punkten att röra sig längs den blå linjen som slutar i punkt A och den övre brännbarhetsgränsen är nu 12,9 procent. Om en tillräcklig mängd inert gas tillförs så att den gröna linjen AC passeras innan luft släpps till kommer blandningen inte kunna antändas. Detta beror på att då luft tillförs rummet och bränsle samtidigt vädras ut kommer blandningen gå mot att ställa in sig i punkten A vilket motsvarar normala luftförhållanden. Blandningen kommer då aldrig befinna sig inom det brännbara området (Guigay, 2008).

4.1.3 Droppstorleken betydelse

För att utnyttja samtliga av vattnets släckegenskaper bör en så stor del som möjligt förångas i brandgaserna, eftersom kylningen då blir effektivast. Även fast tidigare arbeten visat på att det främst är vattnets spädande förmåga som förhindrar brandgasantändning kan kylningen medföra andra fördelar. Kylningen av brandgaserna blir effektivast om allt vatten förångas helt i brandgaserna eftersom all energi då tas från dessa. Därför är en spridd stråle med små droppar att föredra, då dessa hinner förångas i brandgaserna. Det beror framförallt på att de har en stor omslutningsarea i förhållande till volymen, vilket gör att de får en stor kontaktyta med brandgaserna och därmed sker en stor energiövergång. De större dropparna har tillräcklig hastighet och volym för att fortsätta genom brandgaserna och träffar istället heta omslutande ytor i rummet, förångas och tar energi från dessa. Med anledning av detta blir påföringstekniken viktig då man vill täcka in så stor mängd gas som möjligt. Detta för att vattendropparna skall hinna förångas i brandgaserna innan de träffar rummets ytor. Därför är utrustning som ger små droppar effektivare för att kyla brandgaser och högtryckssystem är till exempel att föredra framför lågtryckssystem (Särdqvist, 2006).

4.1.4 Tryckuppbyggnad

Då vatten används mot en brand i ett slutet utrymme kan under- eller övertryck skapas beroende på var vattnet förångas. När vattnet förångas innebär det en ökad mängd gas i rummet vilket leder till en tryckökning, samtidigt kyller vattnet brandgaserna vilket leder till en minskad volym och trycksänkning. När större droppar används för att kyla bränslet eller ytorna kring branden ökar gasvolymen av det förångade vattnet, utan att brandgaserna kyla avsevärt. Detta medför att ett övertryck skapas och brandgaser strömmar ut ur utrymmet. Används istället en vattendimma med mycket små droppar förångas dessa i brandgaserna vars temperatur sjunker och volym minskar. Detta medför ett undertryck och luft sugas in, vilket medför att syre tillförs och branden riskerar att åter igen flamma upp. Genom teoretiska beräkningar med grund i allmänna gaslagen kan det visas att de två effekterna tar ut varandra om 70 procent av vattnet förångas mot heta ytor och 30 procent förångas i brandgaserna vid 600°C (Särdqvist, 2006). Om allt vatten förångas i brandgaserna kan volymförändringen beräknas enligt ekvation 4 (Särdqvist, 2006).

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\left(\frac{c_{p,g}\Delta T_g}{L_{v,v} + c_{p,a}(T_{g,slut} - 373)} \right) + 1 \right) \frac{T_{g,slut}}{T_g} \quad \text{Ekvation 4}$$

4.2 Påföringsmetoder

Det finns en rad olika metoder och redskap för att genomföra en insats med vatten som släckmedel, att experimentellt testa alla är varken genomförbart eller av intresse. Vid insatser i dessa miljöer vet man sällan var i rummet branden befinner sig eller om den ens pågår. Därför blir inriktningen att kyla brandgaserna istället för att släcka branden. Denna inriktning beror även på att en antändning av de brännbara gaserna är det huvudsakliga hotet i det inledande skedet och inte branden i sig. I detta avsnitt presenteras och motiveras de påföringsmetoder som valts ut för fortsatta studier.

4.2.1 Dimspik och skärsläckare

För att slippa problematiken med att skapa en öppning till utrymmet kan med fördel skärsläckare eller dimspik användas. Då räcker det med att ett litet hål skapas från utsidan för att kunna applicera vatten. De båda metoderna fungerar på lite olika sätt men den övergripande tanken är densamma. Båda används från utsidan av brandrummet och kyller brandgaserna med hjälp av finfördelade vattendroppar.

Skärsläckaren är ett relativt nytt verktyg men dess duglighet har visat sig stor. Ett högt tryck (>250 bar) och ett skärämne utblandat med vattnet ger skärsläckaren en så god penetrationsförmåga att den kan skära igenom i princip alla byggnadsmaterial (Coldcut systems). Då genombrott av materialet skett stängs tillförseln av skärämne och tack vare det höga trycket appliceras vattnet med små droppar. De små finfördelade dropparna leder till en effektiv kylning av brandgaserna och en snabb övergång till vattenånga vilket bidrar till spädningen (Bengtsson, 2001).

Metoden med dimspik bygger på att ett litet hål skapas genom till exempel en dörr eller vägg i vilket dimspiken sedan slås in. Dimspik finns i olika utföranden och kan användas till antingen hög- eller lågtryckssystem. Två huvudsakliga varianter finns, en kallas "dimspik attack" och den andra "dimspik begränsning" (Bengtsson, 2001). Skillnaden är att "attack" applicerar vattnet med en mindre vinkel och får därför längre räckvidd medan "begränsning" har en stor vinkel och sprider därför vattnet nära väggen som penetrerats. Dimspiken arbetar med ett vattenflöde på 70-80 l/min beroende på om det är låg- eller högtryckssystem som används (Dafo).

Om det är möjligt att använda de här metoderna bedöms de vara ett bra val vid insats mot en underventilerad brand. Att arbeta från utsidan av brandrummet med dimspik eller skärsläckare var därför önskvärt att testa praktiskt under försöken.

4.2.2 Strålrör

För att få vattnet på rätt plats behövs någon form av munstycke som fördelar och riktar vattnet som kommer genom slangen. Dessa munstycken kallas strålrör och finns i en mängd utföranden med syfte att skapa olika strålbilder för att kunna genomföra en så effektiv insats som möjligt. Att använda sig av manuella strålrör är fortfarande den mest använda släcktekniken mot rumsbrand. Med de manuella strålrören kan vattenpåföringen regleras från att vara en sluten stråle till en dimstråle vilket medför lång räckvidd men liten träffyta kontra kort räckvidd men stor intäkt yta. Det finns manuella strålrör till både traditionella lågtryckssystem eller till de idag rikligt förekommande högtryckssystemen. För att göra en insats mot en ventilationskontrollerad brand är det som tidigare nämnts inriktningen brandgaskylning som tillämpas. Därför används en spridd stråle som täcker in en stor volym och samtidigt skapar små droppar vilka kan förångas fullständigt i brandgaserna (Särdqvist, 2006).

Den stora problematiken med att använda manuella strålrör vid insats mot en ventilationskontrollerad brand är att en öppning måste skapas till utrymmet. Trots detta sker insatser med strålrör och då finns det två olika tillvägagångssätt som tillämpas (Bengtsson, 2002; Guigay et al, 2008). Antingen öppnas dörren, brandmännen går in och stänger dörren efter sig. De kan sedan angripa brandgaserna från insidan. Detta bedöms vara en riskabel metod eftersom personalen på insidan är väldigt utsatt. Denna metod kan även medföra en bättre omblandning av de brännbara gaserna och luften, eftersom turbulensen ökar under tiden brandmännen befinner sig i öppningen (Bengtsson, 2002; Guigay et al, 2008). Metoden var inte möjlig att testa inom ramen för det här projektet då den skulle innebära en alltför stor risk i det relativt lilla försöksrummet.

Den andra metoden innebär att dörren öppnas en kort stund, vatten appliceras och dörren stängs därefter igen. Denna korta procedur upprepas sedan ett antal gånger tills inträngning bedöms säkert (Bengtsson, 2002; Guigay et al, 2008). Det här är en metod som framförallt tillämpas av en del räddningstjänster i andra länder. Australiens räddningstjänst tillämpar denna metod och

projektgruppen har varit i kontakt med Shan Raffel, som har stor erfarenhet inom området. Nedan beskrivs metoden mer utförligt och detta bygger på en mailkorrespondens med Shan Raffel¹.

I Australien kallas tekniken "Door entry technique" och innebär följande: om dörren till utrymmet leder ut i det fria inleds insatsen med att först lägga en vattenfilm över dörren. Dels för att kyla dörren och dels för att få en indikation på neutralplanets höjd. Om dörren inte är välisolerad kommer värmen snabbt ledas genom den och det går därmed att urskilja hur temperaturen ökar med höjden. Det blir därför möjligt att få en indikation på hur långt från golvet de varma brandgaserna stabiliserat sig.

Sedan öppnas dörren försiktigt och endast så mycket att ett strålrör kan stickas in i öppningen. Vatten påförs direkt under cirka 2-3 sekunder och dörren stängs sedan, för att förbli stängd under 10-15 sekunder. Den här tiden tillåter vattnet att förångas och blandas med brandgaserna. Förfarandet kan sedan upprepas 2-3 gånger för bästa effekt. Under den korta tid som dörren är öppen skall brandmännen vara observanta på de signaler som branden uppvisar.

Den här metoden ansågs intressant att studera och det var önskvärt att genomföra praktiska försök för att utvärdera hur effektiv den egentligen är.

4.3 Beräkningar

I detta avsnitt utförs beräkningar för att teoretiskt uppskatta hur stor vattenmängd som skall tillföras den slutna volymen för att uppnå önskad effekt. Två separata beräkningar genomförs där den ena syftar till att undersöka hur stor massa vatten det teoretiskt krävs för att sänka brandgasernas temperatur till 100°C. Den andra genomförs för att uppskatta hur stor massa vatten som krävs för inertering av utrymmet. De två resultaten kommer sedan jämföras och den beräkning som kräver mest vatten blir avgörande.

4.3.1 Kylning

I tidigare utförda arbeten eller annan litteratur gick det inte att finna någon lägsta temperatur då backdraft inte längre kan uppstå. Därför antas den lägsta temperaturen efter kylningen bli 100°C, även fast backdraft förväntas kunna ske vid denna temperatur om övriga förhållanden stämmer. Detta antagande bygger på att allt vatten förångas i brandgaserna och då det skett kommer ångan teoretiskt inte kunna kylas mer, eftersom vattnet då antagit denna temperatur. Som maximal inledande temperatur på brandgaserna antas 600°C, då noterade högsta temperaturer under tidigare arbeten har legat kring denna (Gojkovic, 2001). En högre temperatur kommer troligen att erhållas när branden är fullt utvecklad innan dörrarna stängs. Dock sjunker temperaturen när brandens intensitet minskar på grund av syrebrist och temperaturen förväntas inte vara högre än 600°C då vattnet tillförs.

¹ Personlig kommunikation med station officer Shan Raffel, Brisbane, 2011-09-10 – 2011-10-10.

I beräkningarna antas allt vatten förångas i brandgaserna innan de träffar de heta ytorna. Detta antagande motiveras med att det är mycket små droppar som tillförs och att temperaturen i rummet är hög. Massan vatten som krävs för att kyla brandgaserna från 600 till 100°C uppskattas med hjälp av en förenklad energibalans, ekvation 1 (Särdqvist, 2006). För att undersöka hur stor inverkan brandgasernas starttemperatur får på resultatet genomförs en känslighetsanalys med temperaturerna 500°C respektive 700°C.

$$m_v c_{p,v}(273 - T_v) + L_{v,v} m_v + m_v c_{p,g}(T_{g,slut} - 373) = \Delta T_g c_{p,g} V_g \rho_g \quad \text{Ekvation 1}$$

Eftersom beräkningarna avser att sänka brandgasernas sluttemperatur $T_{g,slut}$ till 100°C kommer vattenångan teoretiskt inte att värmas upp efter att förångning skett. Detta innebär att den energi som tas från brandgaserna endast består av uppvärmning av vatten samt förångning av detta och ekvation 1 kan då förenklas enligt följande.

$$m_v c_{p,v}(373 - T_v) + L_{v,v} m_v = \Delta T_g c_{p,g} V_g \rho_g$$

$c_{p,v} = 4,18 \text{ kJ/kg}$, vattnets värmekapacitet i vätskefas.

$T_v = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$, vattnets starttemperatur.

$L_{v,v} = 2260 \text{ kJ/kg}$, vattnets förångningsvärme.

$T_g = 500^\circ\text{C} = 773 \text{ K}$, $600^\circ\text{C} = 873 \text{ K}$, $700^\circ\text{C} = 973 \text{ K}$, brandgasernas starttemperatur.

$T_{g,slut} = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$, brandgasernas sluttemperatur.

$c_{p,g} = 1,0 \text{ kJ/kgK}$, brandgasernas värmekapacitet.

$V_g = 23 \text{ m}^3$, volym brandgaser då hela rummet antas vara rökfyllt.

$\rho_g = \frac{353}{T_g} \text{ kg/m}^3$, brandgasernas densitet är temperaturberoende och beräknas.

Beräkningarna ger att det krävs 1,8 kg vatten för att uppnå den önskade temperatursänkningen från 600°C till 100°C. Detta är beräknat för hela försöksutrymmets volym på 23 m^3 . Känslighetsanalysen visade att det krävs 1,6 kg vatten vid starttemperaturen 500°C och 1,9 kg vid starttemperaturen 700°C. Detta är små variationer och därför bedöms den framräknade mängden 1,8 kg vatten vara representativ.

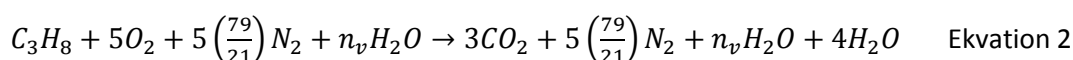
4.3.2 Utspädning

Att uppskatta den massa vatten som måste tillföras utrymmet för att uppnå tillräcklig spädning är mycket komplext då det inte går att fastställa typ av brännbara gaser och i vilka koncentrationer de finns. Efter konsultation med Stefan Särdqvist² konstaterades att det mest lämpliga var att beräkna inerteringsgränsen vid en rad olika temperaturer. Beräkningarna genomförs med en förenklad kemisk reaktionsformel och utnyttjandet av att den adiabatiska flamtemperaturen är konstant vid släckgränsen. För samtliga icke kemiskt aktiva släckmedel som vatten ligger denna släcktemperatur på mellan 1500-1600 K. Under beräkningarna kommer den att sättas till 1550 K (Drysdale, 1998). Eftersom det inte går att bestämma sammansättningen av bränsle i rummet kommer ett sämsta scenario att beräknas. Bränslet antas därför vara propan med fullständig förbränning och detta kommer att ge en större massa vatten än vad som krävs i verkligheten. I det verkliga scenariot kommer det dessutom finnas en hel del inerta gaser så som koldioxid och vatten från den

² Personlig kommunikation med teknisk doktor Stefan Särdqvist, Revinge, 2011-10-06.

förbränning som varit i utrymmet, vilka också bidrar till spädning. Det enda antagande som påverkar vattenmängden i motsatt riktning är det som säger att allt vatten förångas i brandgaserna. Om så inte är fallet kommer den teoretiskt uträknade mängden vatten inte vara tillräcklig för inertering. Detta beror på att energin som går åt för förångning då tas från de heta ytorna och inte från brandgaserna som i detta fall är bränslet. Antagandet om att allt vatten förångas i brandgaserna anses dock vara rimligt då det handlar om små droppar som tillförs ett rum med hög temperatur. Då övriga antaganden i beräkningsgången är konservativa förväntas den teoretiskt beräknade vattenåtgången utgöra den övre gränsen för vad som faktiskt krävs.

Den kemiska reaktionsformeln som beskriver fullständig förbränning av propan med vatten som släckmedel blir enligt ekvation 2 (Drysdale, 1998).



Utifrån denna reaktionsformel och energibalansen enligt ekvation 3 (Särdqvist, 2006) beräknas det antal mol vatten som krävs för att sänka temperaturen till 1550 K. Detta bygger på att energin som frigörs vid förbränning går åt till att värma produkter och reaktanter.

$$\Delta H_c = \Delta T \sum n_p c_{p,p} + \Delta T \sum n_e c_{p,e} + n_v l_{v,v} \quad \text{Ekvation 3}$$

Ekvation 3 tillämpas på ekvation 2 vilket ger.

$$\Delta H_c = (T_{g,slut} - T_g) \left(3 \cdot c_{p,CO_2} + 4 \cdot c_{p,H_2O} + 5 \cdot \left(\frac{79}{21}\right) \cdot c_{p,N_2} + n_v \cdot c_{p,H_2O} \right) + n_v l_{v,v}$$

$\Delta H_c = 2044$ kJ/mol, propans förbränningsvärme.

$T_{g,slut} = 1550$ K, den temperatur då flamman slocknar.

$T_g = 473-873$ K, brandgasernas starttemperatur varierar för att påvisa att antalet mol vatten som krävs är temperaturberoende. Samtliga värden på T_g redovisas i tabell 4.1.

$c_{p,CO_2} = 54,3$ J/molK, koldioxids värmekapacitet.

$c_{p,H_2O} = 41,2$ J/molK, vattenångans värmekapacitet.

$c_{p,N_2} = 32,7$ J/molK, kvävet värmekapacitet.

n_v , beräknas och redovisas i tabell 4.1. Det antal mol vatten som måste tillföras utrymmet för att uppnå inertering.

$l_{v,v} = 40\,680$ J/mol, vattnets ångbildningsvärme.

Denna beräkning ger antalet mol vatten som krävs per mol bränsle för att uppnå inertering.

Koncentrationen vattenånga som krävs för att inertera ett utrymme med en propanbrand beräknas med hjälp av ekvation 5.

$$C_{Inertering} = \frac{n_v}{\sum n_r + n_v} \quad \text{Ekvation 5}$$

$C_{Inertering}$, beräknas och redovisas i tabell 4.1. Koncentrationen vattenånga i förhållande till övriga gaser i rummet som krävs för att uppnå inertering.

$\sum n_r = 1 + 5 + 5\left(\frac{79}{21}\right)$ mol, summan av antalet reaktanter.

Eftersom molprocent är ungefär lika med volymprocent för gaser kan volymen vattenånga som krävs för det aktuella utrymmet beräknas med ekvation 6.

$$V_a = C_{Inertering} \cdot V_{rum} \quad \text{Ekvation 6}$$

V_a , beräknas och redovisas i tabell 4.1. Volymen vattenånga som krävs för inertering.

$V_{rum} = 23 \text{ m}^3$, försökscontainerns volym.

För att slutligen omvandla den beräknade volymen vattenånga till en massa vatten i vätskefas utnyttjas allmänna gaslagen enligt ekvation 7. Mängden vatten som krävs för att uppnå inertering antas vara tillräcklig för att kyla brandgaserna till 100°C och därför används denna temperatur vid beräkning av massan vatten. Trycket antas vara konstant och sätts till atmosfärstrycket då tryckupbyggnaden förväntas vara liten eftersom containern är otät.

$$PV_a = \frac{MRT}{m_v} \quad \text{Ekvation 7.}$$

$P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, atmosfärstrycket.

V_a , volym vattenånga vid inertering, hämtas från tabell 4.1 för de olika temperaturerna.

$M = 18 \text{ g/mol}$, vattnets molmassa.

$R = 8,314 \text{ kJ/molK}$, allmänna gaskonstanten.

$T = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$, vattenångans temperatur.

m_v , beräknas och redovisas i tabell 4.1. Massan vatten som skall tillföras.

Massan vatten som går åt för att uppnå inertering är temperaturberoende och för att ta hänsyn till detta utförs beräkningar för varje helt hundratal på brandgastemperaturen mellan 100°C och 600°C. I tabell 4.1 redovisas resultatet från samtliga delsteg i beräkningsgången.

Tabell 4.1. Resultat från delsteg i beräkningarna samt den slutgiltiga massan och volymen vatten som måste tillföras det slutna utrymmet för att uppnå inertering vid olika temperaturer

$T_g \text{ [K]}$	$T_g \text{ [}^\circ\text{C]}$	n_v [mol/mol _{bränsle}]	$C_{Inertering}$ [Vol%]	$V_a \text{ [m}^3\text{]}$	$m_v \text{ [kg]}$	$V_v \text{ [l]}$
473	200	12,1	33	7,59	4,4	4,4
573	300	13,9	36	8,28	4,9	4,9
673	400	15,9	39	8,97	5,3	5,3
773	500	18,0	42	9,66	5,7	5,7
873	600	20,5	45	10,35	6,1	6,1

Det krävs som mest 6,1 liter vatten då det tillförs rummet vid den maximala temperaturen 600°C. Noteras bör dock att bränslet under beräkningarna antagits vara propan med fullständig förbränning, vilket inte är fallet. Detta förväntas enligt tidigare resonemang ge en större massa vatten än vad som krävs i verkligheten.

4.4 Slutsatser

Målet med den inledande insatsen mot en ventilationskontrollerad brand är att förhindra brandgasantändning. För att utnyttja vattnets samtliga släckegenskaper är det relevant att testa utrustning som ger små finfördelade droppar. Med anledning av detta anses presenterad släckutrustning högst relevant att testa praktiskt.

De teoretiska uppskattningarna av massan vatten som förväntas krävas för att uppnå önskade resultat är mycket grova och bygger på många förenklingar. De ger dock ett intervall på massan vatten att utgå från när försöken genomförs. Utifrån beräkningarna kan det konstateras att det krävs en massa vatten på 4,4 till 6,1 liter för att uppnå inertering vilket kan jämföras med mängden 1,8 liter som krävs för att sänka temperaturen till 100°C. I spädningsberäkningarna antogs det att temperaturen sänktes till 100°C. Eftersom volymen som krävs för att sänka brandgasernas temperatur till 100°C är mindre än den som krävs för att inertera utrymmet bedöms antagandet korrekt. Därmed kan det inför försöken konstateras att den teoretiskt maximala mängden vatten som krävs är 6,1 liter.

5 Empiriska försök

Syftet med de empiriska försöken var att utvärdera vilken effekt en inledande släckinsats med vatten har mot en brand under ventilationskontrollerade förhållanden med risk för backdraft. Detta utfördes genom att en brand i träpallar antändes och tilläts växa i försökscontainern tills lågor slog ut genom öppningen. Vid denna tidpunkt stängdes dörren och branden blev med tiden ventilationskontrollerad. Innan dörren återigen öppnades genomfördes den önskade släckinsatsen och utifrån erhållen mätdata kunde dess effektivitet utvärderas.

Med grund i tidigare litteraturstudie och diskussioner valdes tre släckmetoder ut. I detta kapitel beskrivs den utrustning som användes, hur de empiriska försöken utfördes samt vilka mätdata som registrerades och hur.

Med hjälp av skärsläckare eller dimspik kan räddningstjänsten tillföra vatten i små droppar utan att någon öppning behöver skapas till brandrummet. Det var önskvärt att testa båda de här verktygen men på grund av att försöken behövde rymmas under en begränsad tid på övningsfältet beslutades det att endast testa dimspiken. Detta motiverades med att skärsläckaren och dimspiken har liknade egenskaper vid släckning, då de båda används från utsidan av brandrummet och de applicerar en finfördelad vattenspray. Vattendropparnas storlek och spridningsbilden i rummet är inte densamma för de två verktygen. Det antogs dock att i båda fallen skulle den största delen av vattnet förångas i brandgaserna och de bedömdes därmed vara tillräckligt lika för att endast testa en av dem. Dessutom visade de teoretiska beräkningarna att det endast krävdes en vattenvolym under 6 liter. Detta är en väldigt liten volym vatten i förhållande till vad de här systemen är dimensionerade för och därmed konstaterades att det förmodligen skulle bli svårt att dra några konkreta slutsatser vid jämförelse mellan de två. Till försöken valdes av praktiska skäl dimspiken före skärsläckaren. En farhåga var att skärsläckaren skulle slå i den bakre väggen innan strålen hunnit brytas upp. Detta hade gett en missvisande bild eftersom förhoppningen var att förånga allt vatten i brandgaserna. Dessutom var de grova metoder som användes för att mäta flödet från munstycket bättre lämpade för dimspiken. Dimspiken har en enkel kulventil som sitter nära mynningen medan skärsläckaren har en lång lans efter ventilen vilket skulle gett mer osäkra mätvärden vid de små vattenvolymer det handlade om.

Eftersom insatser med strålrör är vanligast förekommande hade det även varit intressant att studera och utvärdera metoden som kallas "door entry technique". Detta var projektgruppens avsikt under större delen av förberedelsetiden fram till försöken. Men då det visade sig att den tillgängliga tiden för försökens genomförande blev kortare än förväntat togs ett beslut i samråd med handledare Stefan Svensson att utelämna försök med den här tekniken. Detta motiverades med att det var intressantare att kunna genomföra en större mängd försök med en teknik för att minska felkällorna och öka reproducerbarheten. Försöken blev därmed mer allmänna för vatten och förhoppningen var att till viss del kunna generalisera resultaten så att de täcker in övriga intressanta tekniker.

I tidigare arbeten konstateras även att typ av bränsle har inverkan på backdraftförloppet och idag används allt mer plast vid byggnation och då framförallt i inredningen (Jimenez et al, 2009; Bengtsson, 2001). För att försöka få en uppfattning om hur detta påverkar förloppet och möjligheterna att släcka genomfördes försök där en del av bränslet bestod av plast.

Försöken utfördes i samarbete med instruktörer från MSB Revinge med erfarenhet och kunskap om hur ett ventilationskontrollerat brandförlopp beter sig och när störst risk för backdraft föreligger. Försöken genomfördes inte i standardiserad labbmiljö med de fördelar som detta medför. Istället genomfördes de i ett fullskaligt brandrum där påföring av släckmedel skedde manuellt med räddningstjänstens utrustning. Detta tillvägagångssätt medförde fler osäkerheter i mätdata men förväntades istället ge en bättre bild av verkligheten.

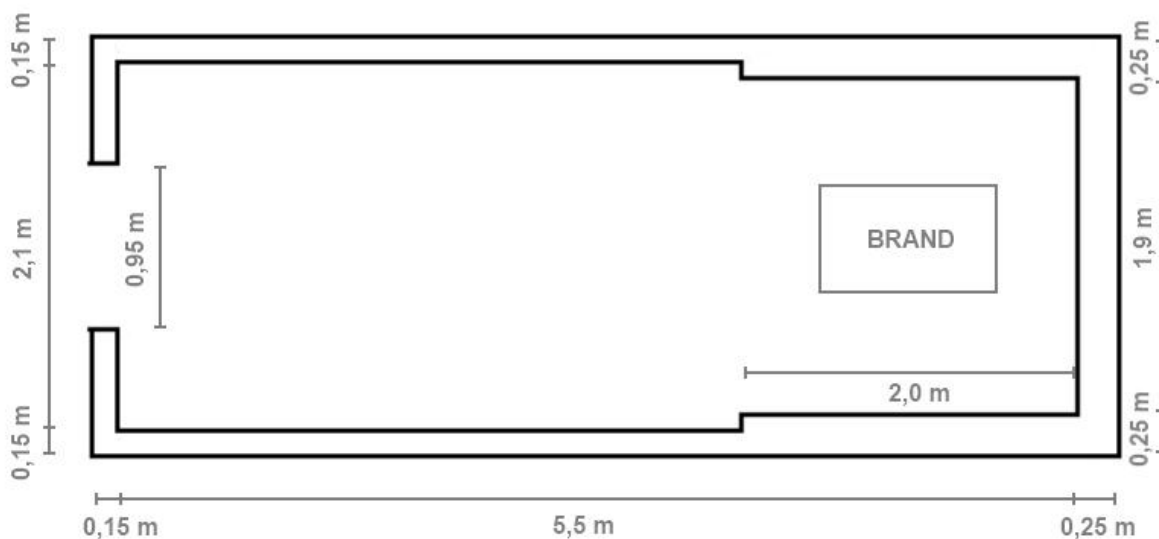
Varje försöksserie inleddes med tre försök utan att någon släckinsats genomfördes, där det tredje sedan fungerade som referensförsök vid jämförelse med övriga. De två inledande försöken genomfördes för att skapa en förhöjd temperatur i rummet och därmed liknande förhållanden inför respektive försök.

5.1 Försökuppställning

Nedan följer en beskrivning av försöksutrymmet, bränslet och den släckutrustning som användes.

5.1.1 Geometri

Försöken genomfördes i en fraktcontainer av stål, som var något modifierad för att fungera som försöksbrandrum. Figur 5.2 visar rummets insida där väggarna var täckta av uppmurade lättklinkerbetongblock, golvet var täckt med betongplattor (trädgårdsplattor) och taket utgjordes av armerade betongelement. Containeren var klädd på insidan för att isolera utrymmet och därmed även skydda stålkonstruktionen. I större delen av utrymmet var tjockleken på lättklinkerbetongblocken 0,15 meter men i den innersta sektionen där branden placerades var blocken tjockare med måtten 0,25 meter. Försöksutrymmets mått presenteras i figur 5.1 där även den varierande tjockleken på väggen går att utläsa.



Figur 5.1. Schematisk bild av försöksutrymmets utformning sett ovanifrån.

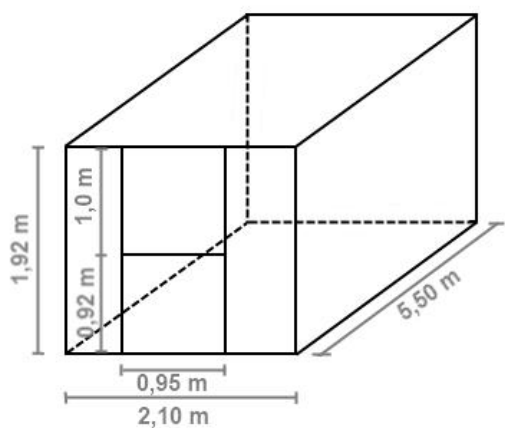


Figur 5.2. Försökscontainers insida.



Figur 5.3. Containers framsida med övre luckan öppen.

I hela utrymmet var takhöjden 1,92 meter. Kortsidan som i containerns normalutförande gick att öppna helt med hjälp av två portar var tillstängd med en ditsvetsad stålvägg. I denna vägg fanns en dörröppning med måtten $0,95 \times 1,92$ meter ($b \times h$) vilken gick att stänga med en tvådelad dörr som kan ses i figur 5.3. Den övre luckan i dörren hade höjden 1,0 meter och den nedre 0,92 meter. Inga andra öppningar fanns till containern men den var inte helt läckagefri. Rummets förenklade innervolym med öppning presenteras i figur 5.4 och i figur 5.5 kan containern ses från utsidan.



Figur 5.4. Förenklad bild av försökscontainern.



Figur 5.5. Containern som användes under försöken.

5.1.2 Bränsle

Bränslet utgjordes i samtliga försök av trä i form lastpallar. I de flesta fall användes Europapallar med måtten $1,20 \times 0,80 \times 0,144$ meter ($l \times b \times h$) och en vikt på 22-25 kg. Tio stycken sådana pallar staplades på varandra längst in i försöksrummet enligt figur 5.1. I några av försöken ersattes Europapallarna med andra sorters pallar av varierad typ, dessa kallas i fortsättningen för lättpallar. Samtliga pallar som användes var av obehandlat trä men lättpallarna var av annan form och storlek.

Att typen av pallar varierade mellan försöken berodde på att det inte fanns tillräckligt många torra Europapallar tillgängliga då försöken genomfördes. I försöken med lättpallar som bränsle användes 14 stycken för att den totala vikten skulle stämma överens med övriga försök. För att studera vilken inverkan ett plastbränsle fick på resultaten kompletterades träpallarna under försöksserie 5 med plast (polyeter) i form av skummadrasser. Dessa madrasser hade måtten $1,20 \times 0,60 \times 0,05$ meter ($l \times b \times h$), densiteten 25 kg/m^3 och vikten 1 kg (IKEA). I de fall bränslet kompletterades med plast användes 2 stycken madrasser i respektive försök.

5.1.3 Släckutrustning

För att få tillgång till den släckutrustning som testades användes en släckbil. Denna stod placerad vid containern under samtliga försök och bilens pump användes för vattenförsörjning. Släckbilen som användes under försöken kan ses i figur 5.6.



Figur 5.6. Släckbilen som användes under försöken.

Det finns som tidigare nämnts dimspik i flera olika utföranden. Till försöken användes en högtrycksdimspik för att erhålla små finfördelade vattendroppar. Trycket som användes sattes till 30 bar vilket är något lägre än normalt arbetstryck. Detta eftersom det medförde fördelar vid uppmätning av flödet, mer om detta i kapitel 5.2.6 *Vattenflöde*. I valet mellan "dimspik attack" och "dimspik begränsning" valdes "attack" vilken kan ses i figur 5.7. Detta motiverades med att en större del av vattnet förväntades förångas i brandgaserna med denna utrustning. Med "begränsning" hade istället en större volym träffat väggar, golv och tak.



Figur 5.7. Dimspik attack till högtryckssystem som användes i försöken.

Delar av vattensprayen från "dimspik attack" kan ha nått igenom brandgaserna och träffat den bakre väggen. Men detta förväntades ändå vara en mindre mängd än den som hade träffat heta ytor med "dimspik begränsning". En grov uppskattning av kastlängden på strålen utfördes genom att mäta i figur 5.8 där längden på containern i bakgrunden var känd. Det visade sig att kastlängden var cirka 5,5 meter.



Figur 5 8. Strålbild för dimspiken som användes i försöken.

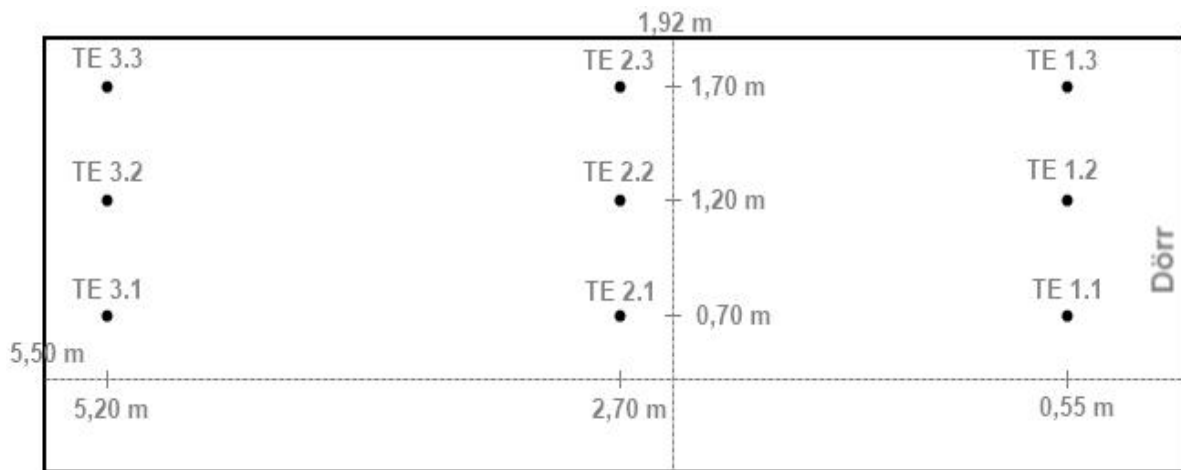
5.2 Mätutrustning

Nedan presenteras de parametrar som ansågs vara intressanta och som var möjliga att mäta inom ramen av detta projekt. Det hade varit önskvärt att mäta gaskoncentrationer i rummet men då sådan utrustning inte fanns att tillgå utvärderades släckmetoden utifrån visuella observationer, temperatur och tryck.

5.2.1 Temperatur

Temperaturen är oftast en god indikation på hur brandförloppet fortgår. Därför kunde vattnets inverkan på brandförloppet utvärderas utifrån temperaturen i brandrummet. Eftersom det tidigare konstaterats att släckmekanismerna är invecklade och beroende av en rad olika faktorer gav inte temperaturen en fullständig bild men tillräckligt för att jämföra resultaten från de olika försöken.

Temperaturen i rummet uppmättes med hjälp av nio stycken termoelement fördelade på tre vertikala linjer enligt figur 5.9. Det borrades hål genom containerns långsida och i dessa applicerades sedan termoelementen inuti ett skyddande rör. Detta för att slippa kabeldragningar i öppningen och för att skydda termoelementen från den höga temperaturbelastning som flera försök i rad innebär. De tre vertikala linjerna placerades enligt figur 5.9 där det går att utläsa att avstånden från taket var cirka 20 cm, 70 cm respektive 120 cm. Figuren över termoelementens placering finns även uppförstorad i bilaga A. Alla termoelement var placerade 25 cm från väggen. Termoelementen som användes var av typen K med en tjocklek på 0,51 mm. Hur termoelementen var monterade på väggen redovisas i figur 5.10 och 5.11. Tre termoelement placerades även i öppningen, ett på respektive pitotrör, för att i efterhand kunna beräkna hastigheten på gaserna.



Figur 5.9. Termoelementens placering på högra långsidan sett inifrån. Avstånden i figuren är uppmätta från golvet respektive från väggen med dörren.



Figur 5.10. Genomföringar med ett termoelement i respektive rör.



Figur 5.11. Termoelementens placering 25 cm från väggen.

Ett termoelement placerades även inuti lättklinkerbetongväggen för att kunna mäta uppvärmningen av väggarna. Ett hål borrades från utsidan av containern och ett termoelement applicerades cirka 10 centimeter in i den tjockare delen av väggen. Uppvärmningen av väggen avlästes mellan försöken för att få en uppfattning om hur mycket kvarvarande värme som fanns till nästa försök.

5.2.2 Visuella observationer

Ett viktigt redskap vid genomförda försök var visuella observationer. Dessa var en bra grund för att kunna tolka erhållna mätvärden. Eftersom försöken syftade till att undersöka vilken effekt de olika vattenmängderna hade på förloppet kunde ett visuellt konstaterande om utfallet vara nog så viktigt. Samtliga försök filmades så att utökade och mer noggranna visuella observationer kunde utföras i efterhand. Utifrån filmen uppmättes även under hur lång tid som vattentillförseln varade i respektive försök.

5.2.3 Tryckuppbyggnad i rummet

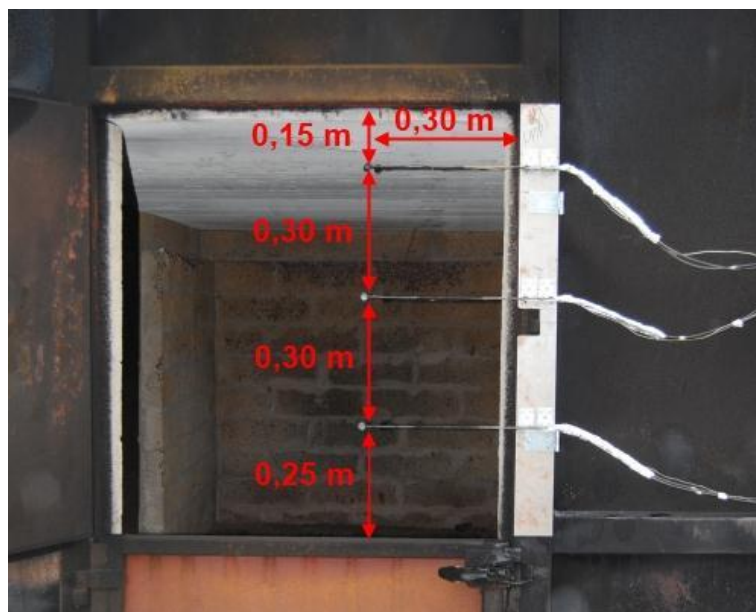
För att kunna konstatera om det skedde en tryckuppbyggnad i rummet och i så fall när, användes en statisk tryckmätare i form av ett rör med öppen ände. Även denna borrades in genom väggen på containerns långsida och var placerad 2,7 meter in i rummet på höjden 1,4 meter, det vill säga centralt på väggen.

5.2.4 Tid till antändning

I flera tidigare genomförda arbeten som studerat backdraftförloppet anges tiden som varade från att dörren öppnas till det att backraften inträffar. I de fall backdraft eller brandgasantändning skedde, mättes denna tid för att kunna göra jämförelser mellan de olika försöken men också gentemot andra författares försök.

5.2.5 Flöden i öppningen

För att mäta in- och utflöden i öppningen samt i de fall backdraft uppstod försöka få ett mått på intensiteten, mättes flödet i öppningen med hjälp av pitotrör. Pitotrören registrerade förändringar i dynamiskt tryck. Genom att jämföra resultaten från de olika försöken var förhoppningen att kunna rangordna intensiteten. Pitotrören i öppningen placerades enligt figur 5.12 och eftersom de var dubbelriktade gav de en indikation på var i öppningen det skedde ett in- respektive utflöde. Eftersom de inte kunde sitta i öppningen då luckan var stängd monterades pitotrören på en ställning med gångjärn och fälldes in efter att luckan öppnats.



Figur 5.12. Pitotrörens placering i öppningen vid infällt läge.

5.2.6 Vattenflöde

För att kunna avgöra vilken inverkan olika vattenvolymer hade på förloppet varierades denna mellan de olika försöksserierna. Det var inte helt enkelt att bestämma vattenvolymer då försöken inte genomfördes i förenklad labbmiljö utan istället med räddningstjänstens ordinarie utrustning. Vattnet påfördes från släckbilens pump, via slang till ett munstycke med grova ventiler. Detta i kombination med de små vattenmängder som krävdes gjorde att stora osäkerheter uppstod. För att kunna mäta mängden tillfört släckmedel utnyttjades flödet ut ur munstycket i kombination med tiden som påföringen varade.

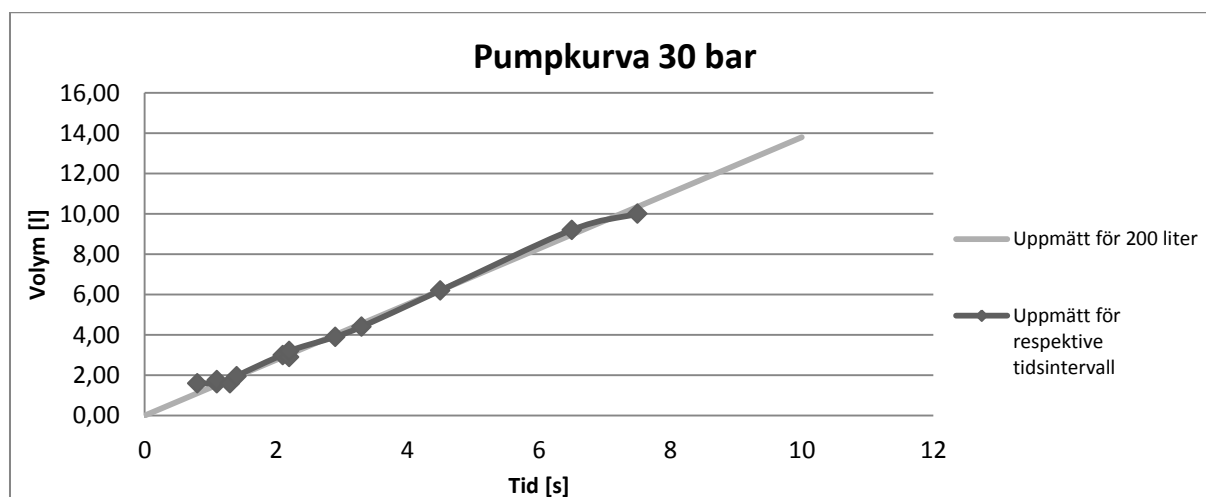
Flödet uppmättes med två olika metoder för att minska osäkerheten. Först mättes flödet över en längre tid då pumpen fick anta ett arbetsflöde. Denna mätning utfördes genom att dimspiken riktades ned i en tunna och tiden till 200 liter uppmättes. Pumptrycket varierades mellan 20, 30 och 40 bar för att se hur stor skillnad detta gav. Resultaten från flödesmätningarna presenteras i tabell 5.1. Efter de första mätningarna konstaterades det att om trycket 30 bar valdes var det lätt att hantera dimspiken och det var lättare att bestämma mängden vatten som tillfördes än vid ett högre tryck. Dimspikens strålbild studerades visuellt genom att spruta den rakt ut i luften utan hinder och det konstaterades då att den inte varierade avsevärt med förändrat tryck. Därför användes ett tryck på 30 bar under försöken och en graf över flödet presenteras i figur 5.13

Tabell 5.1. Tiden det tog att fylla 200 liter vid olika tryck, samt det beräknade flödet

Tryck [bar]	Tid till 200 l [s]	Flöde [l/s]
20	180	1,11
30	145	1,38
40	118	1,69

Den andra metoden användes för att försöka täcka in de felkällor som uppstod eftersom dimspiken endast öppnades under korta sekvenser och arbetsflödet inte hann ställa in sig. För att bättre kunna bestämma hur stor mängd vatten som tillförts rummet under dessa korta sekvenser togs en uppmätt flödeskurva fram. Dimspiken riktades ned i tunnan och flödet öppnades under korta sekvenser, där tidsintervallet noterades. Därefter uppmättes volymen vatten i tunnan med hjälp av ett litermått. De uppmätta värdena sammanställdes och resulterade i den mörkgrå flödeskurvan i figur 5.13. Som ses i figuren så stämde de både kurvorna bra överens och variationerna för de korta tiderna antogs till stor del bero på osäkerheter vid tidtagningen. Med anledning av detta användes den ljusgråa kurvan för att uppskatta volym tillfört vatten.

Detta var grova metoder men med tanke på övriga osäkerheter som redan finns bedöms de ändå tillräckliga. Med hjälp av det uträknade flödet på 1,38 liter per sekund räknades en påföringstid ut så att önskad volym vatten kunde tillföras rummet.



Figur 5.13. Flödeskurvor från de två olika metoderna för att bestämma flödet. Den ljusgråa kurvan visar resultatet från metoden med arbetstryck och 200 liter. Den mörkgråa motsvarar metoden då volymen för kortare tidsintervall mättes.

5.3 Genomförande

Försöken genomfördes i stor skala och riskerna var inte obefintliga då det våldsamma förloppet backdraft kunde inträffa. På grund av detta genomfördes försöken i samarbete med utbildade instruktörer från MSB Revinge och alla inblandade använde tillräcklig skyddsutrustning med andningsapparat i de moment detta var nödvändigt.

Det genomfördes 35 försök fördelade på sex försöksserier. En försöksserie innebar att det genomfördes 6 till 9 försök med samma bränsle. Detta var genomförbart eftersom branden tilläts växa så att liknande förhållanden rådde inför varje försök. Varje försöksserie inleddes med tre försök utan släckmedel, där det tredje utgjorde referensförsök för att kunna studera hur brandförloppet fortlöpte utan inblandning av släckmedel. Anledningen till att det utfördes flera försök innan vatten påfördes var att temperaturen i rummet skulle byggas upp, pyrolysen av bränslet komma i gång och att jämförbara förhållanden skulle råda inför varje försök. De två första försöken behandlades inte vidare utan utfördes endast för att erhålla jämförbara förhållanden under övriga försök. Ett antal försök genomfördes sedan där en önskad mängd vatten tillfördes. Försöksserien avslutades sedan med ytterligare ett försök utan vatten för att erhålla ett referensförsök med högre temperatur.

5.3.1 Grundutförande

Bränslet placerades längst in i utrymmet enligt figur 5.14 och antändes, branden fick sedan växa med öppen dörr och därmed fri tillgång till syre, vilket kan ses i figur 5.15. Denna tillväxtfas varade under cirka 4 minuter varefter dörren stängdes. Dörren förblev stängd under 2 minuter vilket var tillräckligt för att skapa kraftigt underventilerade förhållanden. Sedan öppnades den övre luckan, luft strömmade till i nedre delen av öppningen och brandgaser ut genom den övre. Den övre luckan öppnades eftersom detta förväntades ge det värsta utfallet. Branden var vid detta tillfälle inte helt släckt och fungerade därmed som tändkälla. Efter öppning noterades om brandgasantändning skedde och hur brandförloppet återhämtade sig. Dörren hölls sedan öppen en tid så att branden åter kunde tillta i intensitet. När önskade förhållanden återigen uppnåts stängdes dörren och förfarandet upprepades. Detta medförde att flera försök kunde genomföras utan att nytt bränsle tillfördes.



Figur 5.14. Bränslets placering längst in i försöksrummet.



Figur 5.15. Brandens tillväxtfas med tillräcklig ventilation.

5.3.2 Försök med vatten

För att kunna genomföra försök med dimspik skapades ett tillräckligt stort hål 1,23 meter över dörrens nederkant. Förfarandet med branden var enligt tidigare beskrivning i kapitel 5.3.1 *Grundutförande* men 10 sekunder innan luckan öppnades tillfördes en önskad mängd vatten från dimspiken. Den enda avvikelser från grundutförandet gjordes i försöksserie 5 där de tre första försöken genomfördes med ett förändrat bränsle. Förändringen i bränsle innebar att trämaterialen kombinerades med plast i form av två stycken skummadrasser (polyeter). I de två avslutande försöken i serien fanns plastrester kvar i containern vilket kan ha påverkat förloppet.

Som utgångspunkt användes den tidigare framräknade vattenvolymen som uppgick till mellan 4,4 och 6,1 liter beroende på temperaturen. Då denna volym enligt tidigare resonemang borde utgjort en övre gräns inleddes försöken med en mindre volym. Under försöken konstaterades att den inledande volymen inte hade önskad inverkan och därför ökades den. Mellan försöksserierna varierades volymen tillfört vatten mellan cirka 1 och 7 liter. Att en större volym aldrig tillfördes berodde på att ingen antändning skedde då cirka 6 liter tillfördes.

Tabell 5.2 redovisar mängd och typ av bränsle samt ungefärlig påföringstid vilken dimensionerades utifrån önskad vattenvolym och uppmätt flöde på 1,38 l/s. Påföringstiderna är uppmätta manuellt och vissa avvikelser från önskad tid förekommer, en exakt tid presenteras i bilaga B. Rådande uppmätta omgivningsförhållanden inför respektive försöksserie redovisas i tabell 5.3. Under samtliga försök blåste det mot containerns öppning men på grund av att turbulens uppstod runt containrarna på övningsområdet var det svårt att avgöra exakt riktning.

Tabell 5.2. Beskrivning av de olika försöksserierna

Försöksserie	Bränsle	Önskad volym vatten [l]	Ungefärlig påföringstid [s]
1	Trä 10 st Europapall	1,5	1
2	Trä 10 st Europapall	3	2
3	Trä 14 st lättpall	1,5	1
4	Trä 14 st lättpall	4	3
5	Trä 10 st Europapall + 2 st skummadrasser (polyeter) i försök 5.1, 5.2 och 5.3	4	3
6	Trä 7 st Europapall + 4 st lättpall	7 (Försök 6.7: 1,5 liter)	5 (Försök 6.7: 1 sekund)

Tabell 5.3. Omgivningsförhållanden vid starten av respektive försöksserie

Försöksserie	Omgivningstemperatur [°C]	Rumstemperatur [°C]	Väggtemperatur [°C]	Vind
1	8,4	8,4	8,4	4 m/s byigt
2	11	25	45	4 m/s byigt
3	11	50	59	4 m/s byigt
4	7,5	28	70	2 m/s inga byar
5	9	30	75	4 m/s byigt
6	11	50	97	4 m/s byigt

5.4 Osäkerheter och felkällor

I detta avsnitt presenteras de osäkerheter och felkällor som identifierades i samband med försöken. I kapitel 7.1 *Osäkerheter och felkällor* berörs dessa igen och där förs en diskussion om vilken inverkan de hade på resultaten.

- Containerns begränsade storlek kan ha medfört att vattensprayen från dimspiken påverkade brandhärden och därmed tändkällan till en eventuell brandgasantändning.
- Felaktig volym tillfört vatten på grund av grova metoder då flödet uppskattades, manuell tillförsel av vatten och felaktigheter i påföringstid.
- Val av tider för öppning och stängning av luckan kan ha medfört variationer mellan försöken. Tiden som luckan var stängd bestämdes till 2 minuter för samtliga försök men en annan tid hade eventuellt kunnat medföra bättre förhållanden för brandgasantändning.
- Variation i typ av bränsle samt fuktinnehåll i detta ledde till varierande förhållanden mellan försöken och påverkade därmed reproducerbarheten negativt.
- Försöken utfördes i tät följd vilket ledde till att rummet värmdes upp och försöken fick därmed olika utgångsförhållanden.
- Omgivningsförhållandena varierade mellan de olika försöksserierna och utfallen av försöken kan ha blivit olika beroende på vindpåverkan.
- Begränsningar i tillgänglig mätutrustning medförde att alla önskade parametrar inte gick att mäta.
- Den mänskliga faktorn kan ha lett till variationer under försöken då ett flertal moment byggde på mänskligt agerande.
- Endast den övre delen av dörren öppnades under försöken vilket skiljer sig från ett verkligt scenario. Om hela dörren hade öppnats kunde andra utfall erhållits.
- Försökscontainern motsvarade inte ett fullskaligt brandrum. Trots detta användes släckutrustning dimensionerad för normala brandrum vilket kan ha lett till felaktigheter.

6 Resultat

I detta kapitel redovisas de resultat som anses viktiga och som ger en bild av vattnets släckförmåga vid en inledande insats. Under försöken antecknades även de visuella observationer som gjordes under varje försök och dessa redovisas i bilaga B.

I försöksserie 5 förändrades bränslet genom att lastpallarna kompletterades med skummadrasser (polyeter) för att studera om typ av bränsle hade inverkan på resultatet. Tyvärr misslyckades denna försöksserie då lastpallarna var fuktiga. Detta resulterade i att stora visuella avvikelser från övriga försöksserier noterades. Exempelvis genomfördes fem uppvärmningsförsök innan vattenpåföringen startade eftersom branden släcktes helt mellan de första försöken. Detta var den enda försöksserien där skummadrasser blandades in som bränsle vilket medförde att det inte fanns några motsvarande försök att jämföra med. Med anledning av detta studerades inte plastens inverkan på resultatet.

6.1 Volym tillfört vatten

En påföringstid valdes inför varje försök för att erhålla önskad volym vatten till rummet. Utifrån filmmaterialet från försöken har den faktiska påföringstiden bestämts för respektive försök och med hjälp av det uppmätta flödet har volymen beräknats. Utifrån filmen konstaterades att påföringstiden stämde väl överens med den valda. Den avvek som mest med 0,6 sekunder vilket gav en differens på maximalt 0,8 liter vatten. I tabell 6.1 redovisas volymen vatten som tillfördes rummet i respektive försök.

Tabell 6.1. Volym tillfört vatten i respektive försök

Försöksserie 1		Försöksserie 2		Försöksserie 3	
Försök	Volym [l]	Försök	Volym [l]	Försök	Volym [l]
1.1	-	2.1	-	3.1	-
1.2	1,4	2.2	2,8	3.2	1,7
1.3	1,5	2.3	2,9	3.3	1,5
1.4	1,7	2.4	2,6	3.4	1,5
1.5	-	2.5	-	3.5	-
				3.6	-
Försöksserie 4		Försöksserie 5		Försöksserie 6	
Försök	Volym [l]	Försök	Volym [l]	Försök	Volym [l]
4.1	-	5.1	-	6.1	-
4.2	3,6	5.2	3,3	6.2	6,2
4.3	4,0	5.3	3,3	6.3	6,1
4.4	3,7	5.4	-	6.4	6,8
4.5	4,3	5.5	3,3	6.5	-
4.6	-			6.6	-
4.7	4,0			6.7	1,5

6.2 Brandgasantändning

De försök som ledde till brandgasantändning noterades och tiden det tog från öppning till att brandgaserna antändes uppmättes i efterhand från filmerna. Det genomfördes 21 försök med vatten och 14 utan. Under försöken skedde totalt 15 antändningar med varierande storlek. I en del av fallen uppstod ett backdraftliknande förlopp med ett stort eldklot som slog ut genom öppningen och i en del blev resultatet endast en brandgasantändning inne i containern. Detta kan ses i figur 6.1 där tre antändningar med varierande storlek visas. I rapporten har inte antändningens storlek behandlats utan det har endast studerats om antändning skedde eller inte. Visuella observationer samt utfallet för samtliga försök redovisas i bilaga B.



Figur 6.1. Brandgasantändningar med varierande storlek.

Utifrån resultaten i tabell 6.2 kan det konstateras att brandgasantändning skedde i 15 av de totalt 35 försöken. Detta betyder att det skedde antändning i 43 procent av fallen. I åtta av dessa skedde antändning i försök utan vattentillförsel, men det var endast i ett fall som antändning skedde i det första försöket i försöksserien. I 88 procent av fallen skedde alltså antändning i den senare delen av försöksserierna. I försöken med vatten skedde antändning i 33 procent av fallen då detta blev utfallet i 7 av 21 försök. Här bör noteras att fem av dessa antändningar skedde i försöksserie tre och fyra samt att ingen antändning skedde under det första försöket med vatten i försöksserierna.

Tabell 6.2. Antalet och andelen försök som ledde till antändning.

Försök	Totalt antal	Antal med antändning	Andel med antändning[%]
Samtliga	35	15	43
Utan vatten	14	8	57
Med vatten	21	7	33

I tabell 6.3 redovisas tiden till brandgasantändning samt volymen tillfört vatten för de 15 försöken där antändning skedde. Utifrån tabellen kan det konstateras att tiden från öppning till antändning låg mellan 20 och 30 sekunder i de flesta fall oavsett om vatten tillfördes eller ej. Det kan även konstateras att en ökad mängd tillfört vatten inte nödvändigtvis förlängde tiden till antändning. Värt att notera är att inga antändningar skedde när vatten tillfördes i försöksserie 1 trots att volymen var densamma som i försöksserie 3 där två antändningar skedde. Detta kan delvis bero på att väggarna i rummet inte hann värmas upp i försöksserie 1 och att bränslet var olika då det i serie 3 användes lättpallar och inte Europapallar. Detta i kombination med att flest antändningar av brandgaserna skedde i försöksserie 3 och 4 där bränslet bestod av enbart lättpallar indikerar att typ av pallar hade betydelse för utfallet.

Tabell 6.3. Volym tillfört vatten och tid till brandgasantändning i de fall då antändning skedde

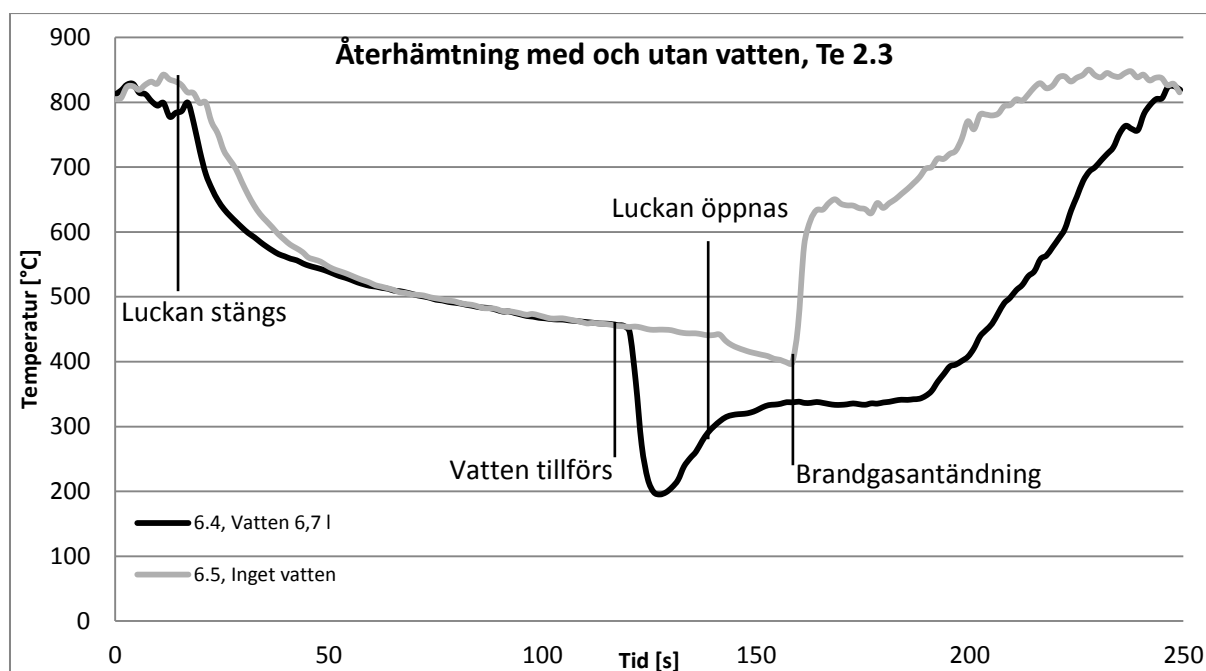
Försök	Volym vatten [l]	Tid till antändning [s]
1.1	-	22
2.5	-	20
3.3	1,5	29
3.4	1,5	30
3.5	-	28
3.6	-	20
4.3	4	30
4.4	3,7	24
4.5	4,3	28
4.6	-	18
5.5	-	27
5.6	3,3	27
6.5	-	26
6.6	-	22
6.7	1,5	16

I försök 6.2, 6.3 och 6.4 där cirka 6 liter vatten tillfördes rummet skedde ingen brandgasantändning. Dock skedde antändning i försök 6.5 och 6.6 utan vatten samt 6.7 där 1,5 liter tillfördes, detta påvisar att förhållandena i containern var sådana att antändning kunde ske. I försöksserie 6 utgjordes dessutom bränslet av drygt en tredjedel lättpallar. Detta resultat påvisar att den volym vatten som behövde tillföras rummet för att förhindra en brandgasantändning låg mellan 4,3 och 6 liter, där 4,3 liter motsvarar den största volymen vatten som tillfördes men ändå ledde till antändning. Gränsen borde därför ligga i detta intervall men den enda volym där det kan säkerställas att ingen antändning skedde är cirka 6 liter. Detta stämmer väl överens med de teoretiska beräkningarna för inertering av utrymmet, vilka visade på att det skulle krävas mellan 4 och 6 liter vatten beroende på brandgasernas temperatur. Försökens 6 liter vatten motsvarar 260 gram vatten per kubikmeter rumsvolym. Detta går att jämföra med Andersson & Holmstedt (1997) som presenterar mängden 150 till 200 gram vattendimma per kubikmeter rumsvolym för att släcka en flamma.

6.3 Vattnets inverkan på temperaturutvecklingen

I detta avsnitt presenteras temperaturvariationen under hela det studerade förloppet.

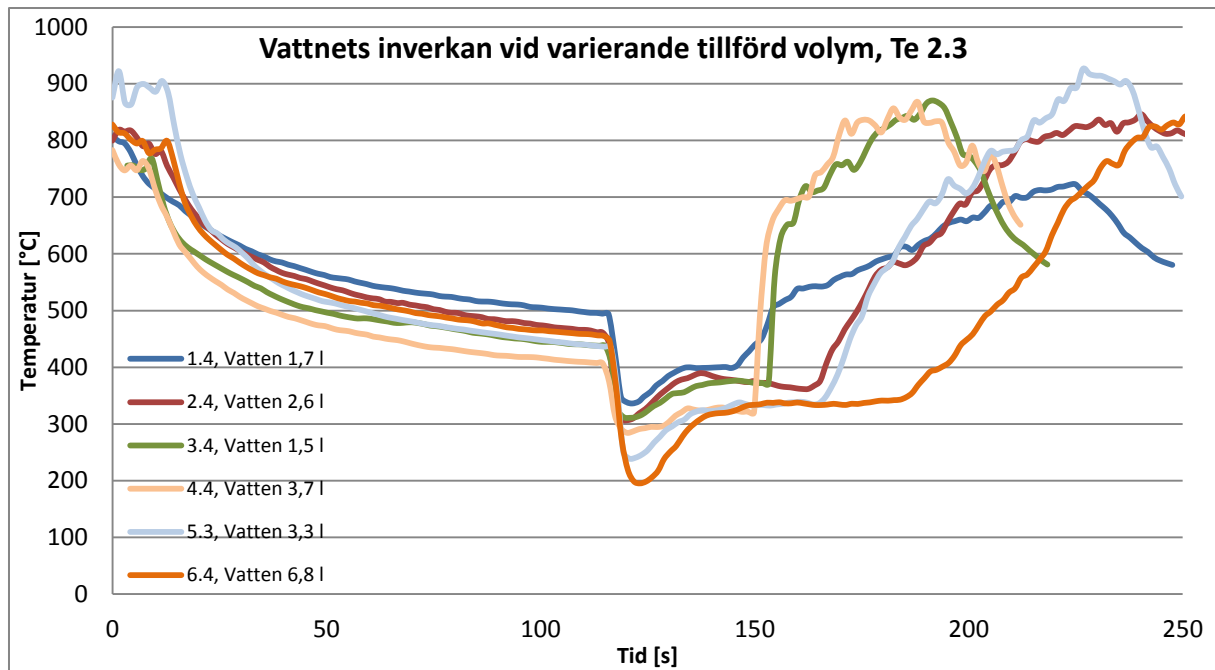
Figur 6.2 är ett tydligt exempel på vilken effekt vattnet kan få vid en inledande insats mot en ventilationskontrollerad brand. Här jämförs två kurvor, den ena från försök 6.4 där 6,7 liter vatten tillfördes utrymmet och antändning förhindrades. Den andra från försök 6.5 utan vattentillförsel och med antändning. Temperaturen i försök 6.4 återhämtade sig visserligen och med tiden uppnåddes samma temperatur som i försök 6.5. Detta skedde dock under mer kontrollerade former och en invändig insats för att bekämpa branden hade därför varit möjlig. Det är denna effekt som bör eftersträvas vid en inledande insats. Detta eftersom testade volymer vatten inte lyckades släcka branden helt då den efter tillförsel av syre växte till fullt utvecklad i samtliga försök. I figuren är även de viktigaste händelserna under förloppet markerade.



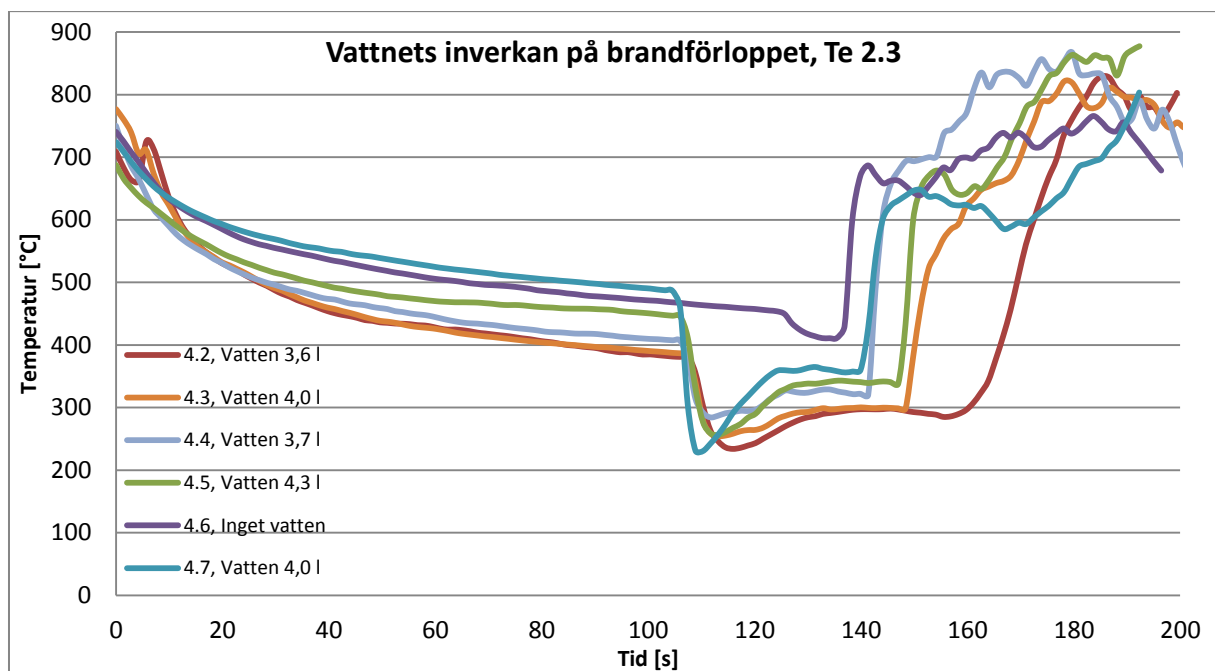
Figur 6.2. Åskådliggör vattnets förmåga att sänka temperaturen och förhindra antändning. De viktigaste händelserna under förloppet är utmarkerade.

I de flesta grafer som presenteras i detta avsnitt används termoelement 2.3 som mätpunkt, vilket var placerat högst upp mitt i utrymmets horisontalled, se bilaga A. Att temperaturvariationen för just detta termoelement presenteras, motiveras med att det påverkades minst av omgivande faktorer som branden och öppningen. Det är också så att brandgaserna främst rörde sig längs taket och detta medförde att det här gavs en tidig indikation på förändring. I de fall då brandgasantändning skedde färdades dessa längs taket och lågorna slog ut genom den övre delen av öppningen. I bilaga C presenteras mätvärden från andra termoelement och det kan konstateras att ovanstående antaganden är riktiga och att termoelement 2.3 är representativt för hela utrymmet.

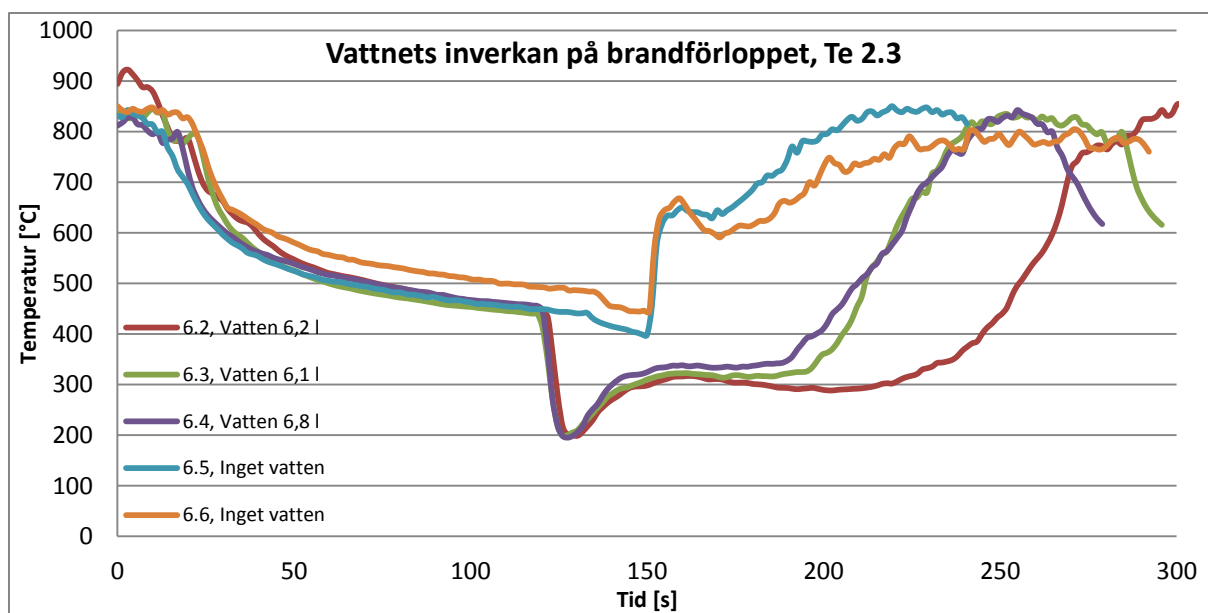
Temperaturvariationen skedde på liknande sätt i samtliga försök vilket kan ses i figur 6.3 till 6.5. Figur 6.3 presenterar ett försök från respektive serie för att påvisa vilken inverkan en varierande volym vatten hade på förloppet. De två figurerna 6.4 och 6.5 visar resultat från försöksserie 4 respektive 6. Att temperaturvariationen skedde på liknande sätt tyder på reproducerbarhet vilket även kan konstateras i bilaga C där resultat från samtliga försök redovisas.



Figur 6.3. Temperaturutvecklingen under försöken med varierende volym tillfört vatten. Mätvärdena är tagna från försök 4 i varje försöksserie med undantag för serie 5 där försök 3 används.

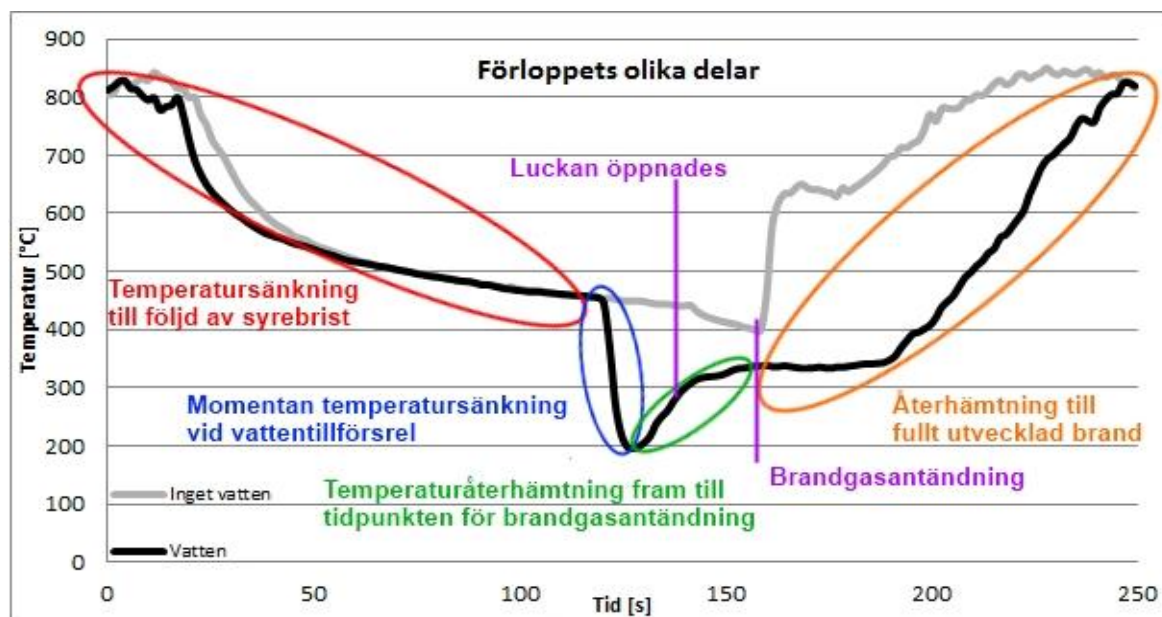


Figur 6.4. Brandgasernas temperaturutveckling under respektive försök i försöksserie 4. De branta temperaturstegringarna i försöken med vatten påvisar att det inte tillfördes en tillräckligt stor volym vatten för att förhindra antändning.



Figur 6.5. Brandgasernas temperaturutveckling under respektive försök i försöksserie 6. De flackare temperaturstegringarna i försöken med vatten påvisar att antändning förhindrades.

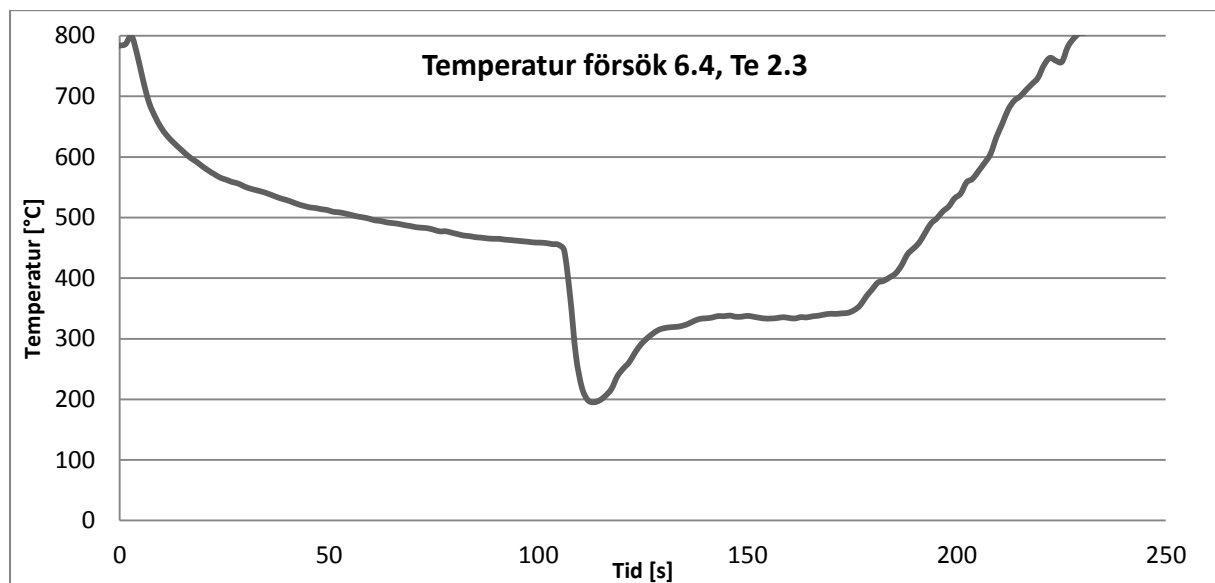
För att kunna hantera resultaten delas förloppet in i olika delar enligt figur 6.6. Förloppets första del är rödmarkerad och utgör tiden från det att luckan stängdes till att vatten påfördes. Denna del av förloppet behandlas inte vidare eftersom den inte påverkades av vattenpåföringen och hade ett liknande utseende i samtliga försök. Detta följs av den blåmarkerade delen som innebär en momentan temperatursänkning till följd av vattenpåföring. Efter den momentana temperatursänkningen skedde en snabb återhämtning av temperaturen fram till dess att luckan öppnades och denna del är grönmarkerad. I de fall brandgasantändning skedde kan det utläsas i figurerna som en väldigt snabb temperaturökning. Förloppets sista del är orangemarkerad och här växer branden åter till fullt utvecklad. Den orangefärgade delen av förloppet fick väldigt olika utseende beroende på om antändning skedde, vilket kan ses i figuren.



Figur 6.6. Förloppets olika delar är inringade och tidpunkterna då luckan öppnades samt då brandgasantändning skedde är markerade.

6.3.1 Momentan temperatursänkning vid vattentillförsel

I samtliga försök med vattenpåföring skedde en väldigt snabb temperatursänkning vilken är blåmarkerad i figur 6.6. Denna sänkning varade under 4-11 sekunder beroende på var i rummet mätningarna genomfördes. Temperatursänkningen skedde fortast längst in i rummet där den varade under cirka 4-6 sekunder medan den pågick en något längre tid närmare öppningen. Med tunnare termoelement hade registreringen av sänkningen varit mer exakt och förmodligen skulle den då skett nästan momentant. Denna hastiga temperatursänkning överensstämmer med teorin som säger att det krävs en stor mängd energi för att förångsa vattnet och om denna tas från brandgaserna medför det en stor temperatursänkning. I figur 6.7 redovisas hur temperaturen i rummet först sjunker på grund av brandens brist på syre, för att sedan sjunka hastigt då vatten tillförs. Utseendet på den hastiga temperatursänkningen är representativt för samtliga försök.

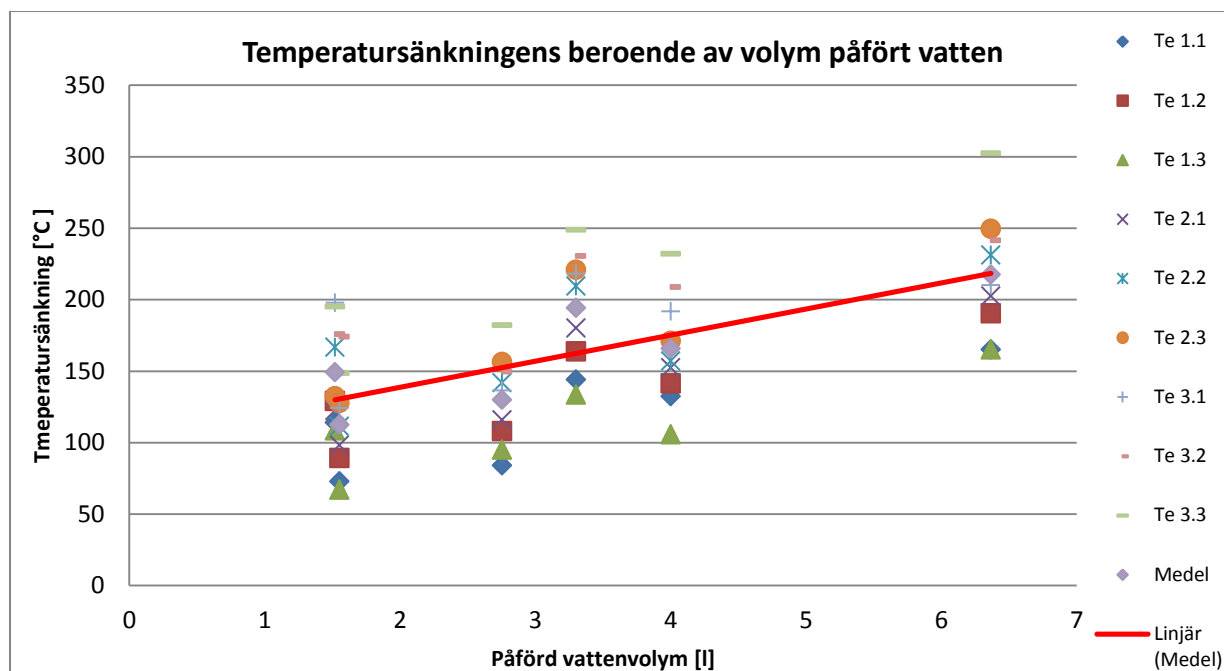


Figur 6.7. En temperaturprofil från försök 6.4 och termoelement 2.3. Här syns den kraftiga temperatursänkningen då vattnet tillfördes.

Storleken på denna temperatursänkning varierade mellan försöken och var beroende av vilken temperatur som rådde då vattnet påfördes, var i rummet mätningen skedde samt hur stor volym vatten som användes. Temperatursänkningen varierade i samtliga försök och mätpunkter mellan cirka 60°C och 320°C. Störst var temperatursänkningen längst in i rummet nära branden. Om medelvärden för de översta mätpunkterna och samtliga försök används blev temperaturen före påföring cirka 450°C och efter cirka 270°C, då en medelvolyms på 3,3 liter tillfördes. Storleken på temperatursänkningen stämmer inte med teorin där beräkningarna visar att det endast skulle krävas 1,8 liter vatten för att sänka temperaturen från 600°C till 100°C.

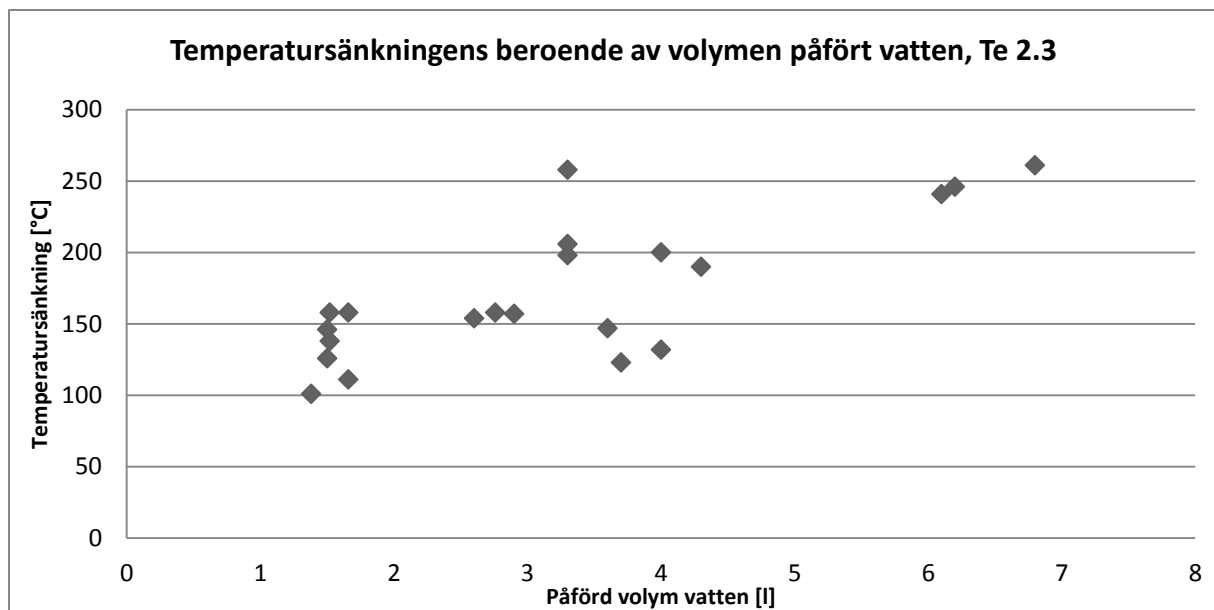
I figur 6.8 går det att utläsa hur temperatursänkningen berodde av volymen påfört vatten. Denna graf är framtagen genom att utdata bearbetats i flera steg. Först noterades temperatursänkningen för respektive försök och termoelement. Denna temperatursänkning varierade i rummet vilket konstaterades genom att studera de olika mätpunkterna. Variationer skedde dock också mellan de olika försöken i försöksserierna beroende på vilken temperatur brandgaserna hade vid tidpunkten då vatten tillfördes. Genom att beräkna medelvärden för respektive försöksserie minskades denna variation. Medelvärdena för temperatursänkningen vid respektive mätpunkt plottades sedan mot den tillförda volymen vatten i försöksserien. Ytterligare en omgång mätpunkter lades till vilka

motsvarar ett medelvärde över samtliga mätpunkter alltså ett medelvärde i rummet. Att medelvärden beräknades i flera steg genomfördes för att minska spridningen mellan försöken. För att på så sätt tydligare se tendenser kring vilken effekt en ökad volym vatten fick. Detta kan jämföras med figur 6.9 som presenterar faktiska värden vid en mätpunkt utan att medelvärden beräknats. Det går då att utläsa att storleken på temperatursänkningen varierade relativt mycket mellan försöken. I bilaga D presenteras kompletterande värden på temperatursänkningen utan medelvärden för tre olika mätpunkter i horisontalled samt en figur där samtliga sänkningar är plottade.



Figur 6.8. Medelvärden från respektive försöksserie presenteras för de olika termoelementen 1.1 till 3.3 samt en serie som motsvarar medelvärden i rummet. En linjär trendlinje tillhörande medelvärdespunkterna har lagts till.

För att tydligare kunna se ett samband genomfördes en linjärisering och då användes mätpunkterna som innebär medelvärden i rummet. Denna linjära trendlinje kan ses i figur 6.8. Det kunde med erhållna mätvärden inte säkerställas att temperatursänkningen korrelerar linjärt med mängden påfört vatten men inom det uppmätta intervallet verkar detta stämma.

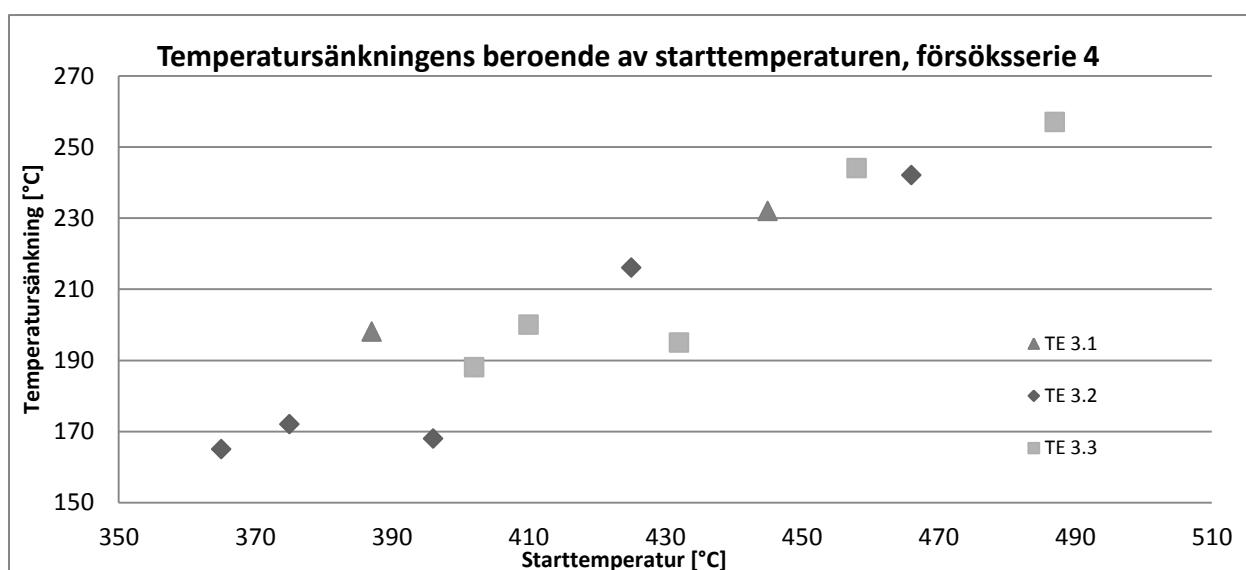


Figur 6.9. Resultat från mät punkt 2.3 som visar hur temperatursänkningen beror på vattenmängden för respektive försök.

Temperatursänkningens storlek var även beroende av temperaturen som rådde då vattnet tillfördes. En högre temperatur vid tidpunkten för vattentillförsel gjorde att temperatursänkningen blev större. Temperaturåterhämtningen gick dock också fortare vilket redovisas under kapitel 6.3.2

Temperaturåterhämtning fram till tidpunkten för brandgasantändning. Hur temperatursänkningen berodde av temperaturen som rådde då vattnet tillfördes redovisas i figur 6.10. Här presenteras en specifik försöksserie och tre utvalda mätpunkter istället för medelvärden. Dessa värden är dock representativa för övriga försök då samtliga uppvisade samma tendens. Att temperatursänkningen blev större vid ökad starttemperatur överensstämmer med teorin. Enligt den förenklade energibalansen i ekvation 1 erhålls ett större ΔT_g i högerledet om T_g i vänsterledet ökar.

$$m_v c_{p,v} (273 - T_v) + l_{v,v} m_v + m_v c_{p,a} (T_{g,slut} - 373) = \Delta T_g c_{p,g} V_g \rho_g \quad \text{Ekvation 1}$$

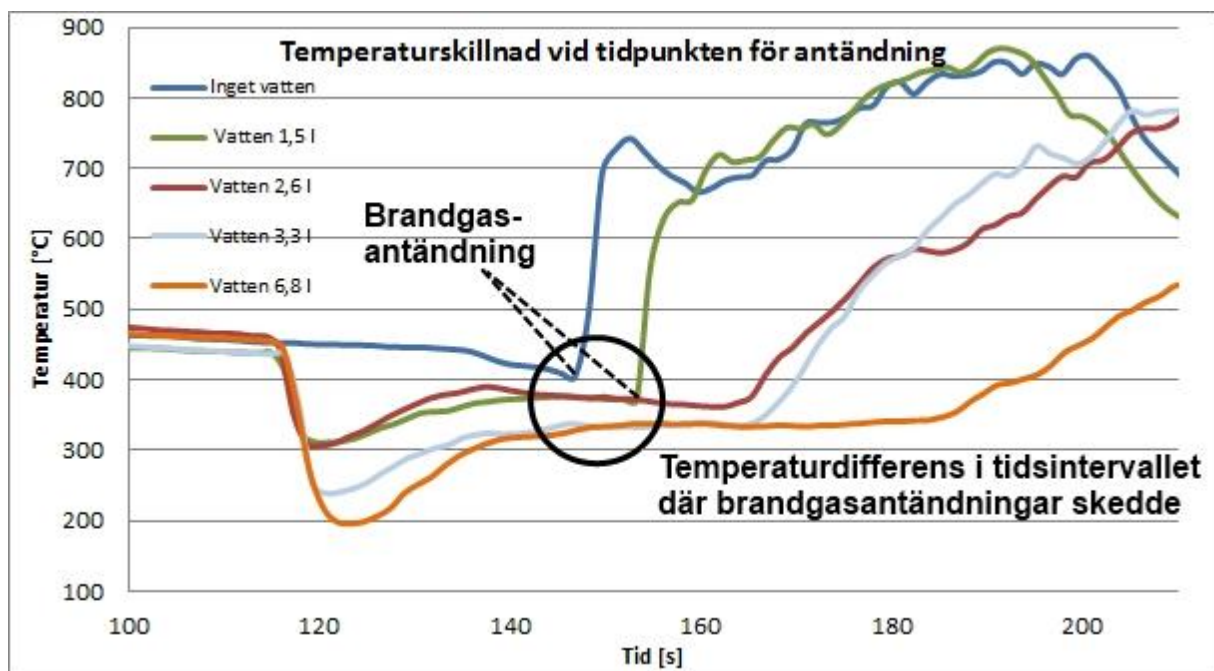


Figur 6.10. Temperatursänkningen beror på den temperatur som råder då vattnet tillförs. Utvalda resultat från försöksserie 4 och termoelementen 3.1–3.3.

6.3.2 Temperaturåterhämtning fram till tidpunkten för brandgasantändning

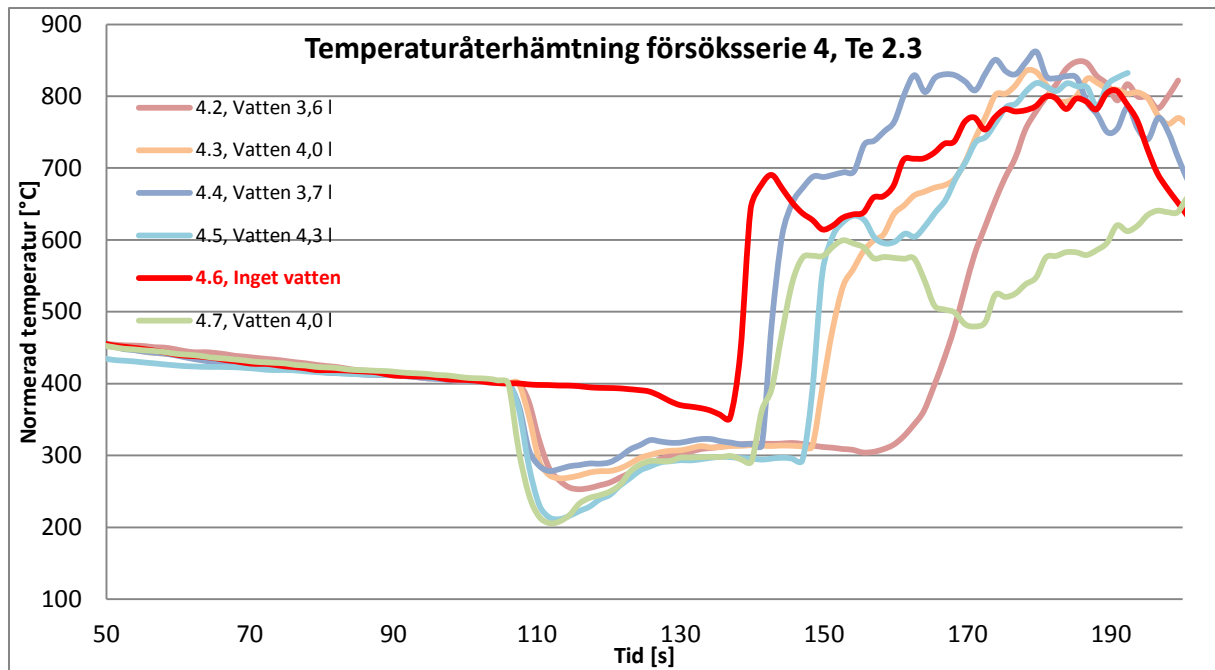
Det har visat sig att temperaturen återhämtar sig fort efter den momentana temperatursänkningen vid vattentillförsel. Denna temperaturåterhämtning studeras fram till tidpunkten för en eventuell antändning och är markerad med grönt i figur 6.6.

Temperaturskillnaden mellan försöken var liten vid tidpunkten för antändning oavsett om vatten tillfördes eller ej. Vid denna tidpunkt låg temperaturen mellan 300°C och 450°C i samtliga försök vilket kan ses i bilaga C. Detta syns ännu tydligare i figur 6.11 där temperaturkurvorna för försök med olika volym tillfört vatten är åskådliggjorda och den studerade tidpunkten är markerad. Vid denna tidpunkt har temperatursänkningen som vattnet momentant åstadkom i princip återhämtats helt och i grafen är temperaturskillnaden mindre än 80°C oavsett volym tillfört vatten. Återhämtningen gick relativt fort fram till att luckan öppnades. När den öppnades strömmade kall luft in och återhämtningen avtog. Den kalla luften gjorde även att temperaturen i försöken utan vatten sänktes.

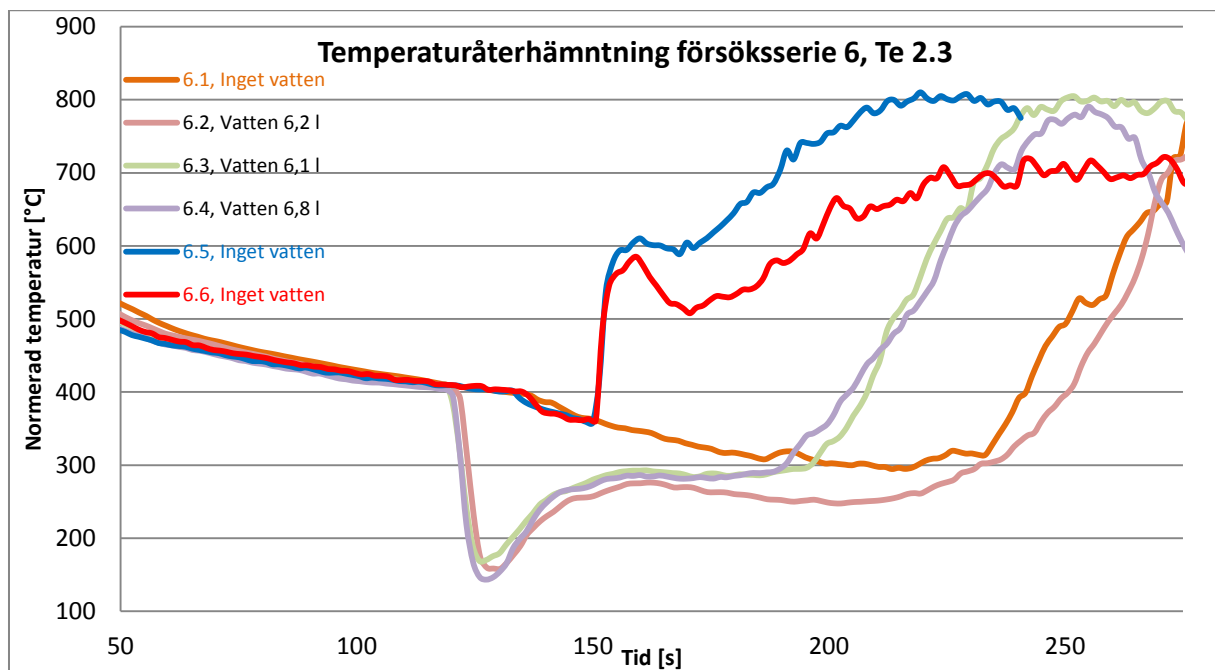


Figur 6. 11. I tidsintervallet där antändning skedde var temperaturskillnaden mellan de olika försöken liten oavsett volym tillfört vatten.

Att temperaturen återhämtade sig till nästan samma nivå i samtliga försök anses vara ett intressant resultat. För att ytterligare belysa och enklare kunna studera denna temperaturåterhämtning presenteras figur 6.12 och 6.13. I dessa grafer har resultatet från försöksserie 4 respektive 6 normerats så att temperaturen vid tidpunkten då vatten tillfördes är 400°C. Normeringen av graferna medför att storleken på temperaturvariationerna stämmer, dock stämmer inte de faktiska temperaturerna längre. Detta gör det enklare att jämföra storleken på temperaturvariationen mellan försöken. I de försök då störst volym vatten tillfördes skedde den största temperatursänkningen, men i dessa fall var även återhämtningen störst. Temperaturåterhämtningen skedde dessutom under ungefär samma tidsintervall och till ungefär samma temperatur. I figur 6.12 kan det konstateras att skillnaden i temperatur var som störst 50°C mellan försöken vid tidpunkten för antändning i försök 4.6. I figur 6.13 kan det ses att denna temperaturskillnad var som störst 70°C vid tidpunkten då antändning skedde i försök 6.5 och 6.6.

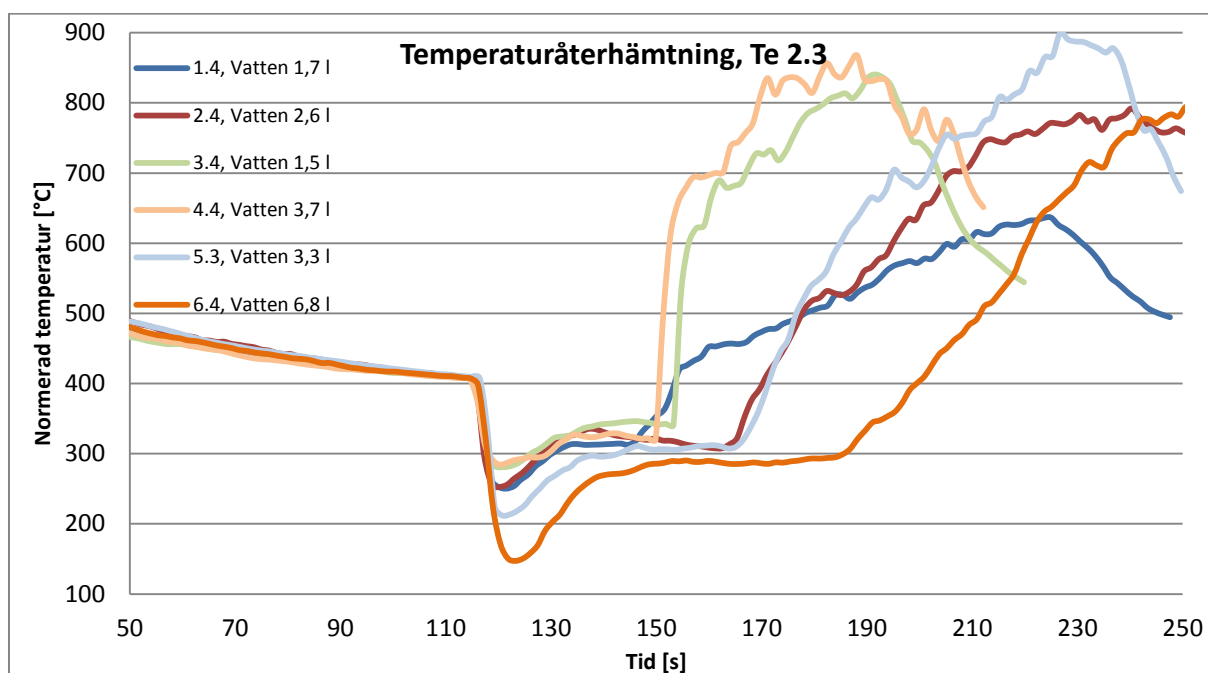


Figur 6. 12. Temperaturåterhämtningen för respektive försök i försöksserie 4. Temperaturen är normerad vid tidpunkten för vattenpåföring. I figuren kan den momentana temperatursänkningen vid vattenpåföring ses samt återhämtningen därefter.



Figur 6.13. Temperaturåterhämtningen för respektive försök i försöksserie 6. Temperaturen är normerad vid tidpunkten för vattenpåföring. I figuren kan den momentana temperatursänkningen vid vattenpåföring ses samt återhämtningen därefter.

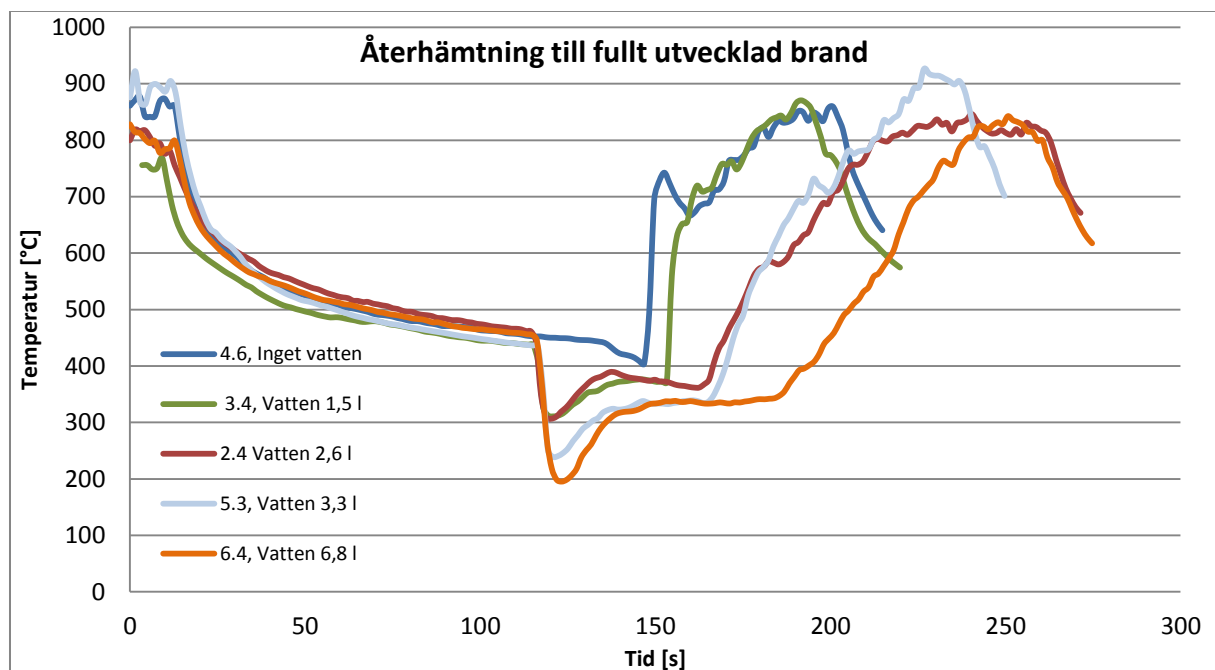
I figur 6.14 presenteras försök 4 från samtliga försöksserier (serie 5 försök 3, eftersom vatten inte tillfördes i 4) med temperaturerna normerade till 400°C vid tidpunkten för vattentillförsel. Här ses tydligt att den momentana temperatursänkningen blev störst i försök 6.4 med en sänkning på cirka 250°C då 6,8 liter vatten tillfördes. Som minst blev sänkningen cirka 120°C i försök 3.5 där 1,5 liter vatten tillfördes. Detta stämmer med tidigare iakttagelser och ur figuren kan det konstateras att den momentana temperatursänkningens storlek blev större med ökad volym vatten. Efter den momentana sänkningen skedde en återhämtning och vid tidpunkten för antändning i försök 3.4 och 4.4 var temperaturskillnaden mellan de olika försöken som mest cirka 60°C. Det kan även här konstateras att den slutliga temperaturskillnaden vid tidpunkten för antändning var liten oavsett om vatten tillfördes eller inte.



Figur 6. 14. Temperaturåterhämtningen för försök 4 i respektive försöksserie (serie 5 försök 3). Temperaturen är normerad vid tidpunkten för vattenpåföring. I figuren kan den momentana temperatursänkningen vid vattenpåföring ses samt återhämtningen därefter.

6.3.3 Återhämtning till fullt utvecklad brand

Avslutningsvis studerades brandens återhämtning till fullt utvecklad, det vill säga den orangemarkerade delen i figur 6.6. I figur 6.15 kan det ses att tiden det tog för temperaturen att åter nå sitt maximum blev längre med en ökad volym tillfört vatten. För att vattnet skulle ha förmåga att fördröja brandförloppets återhämtning krävdes det först och främst att brandgasantändning förhindrades. I de fall antändning skedde återhämtade sig temperaturen mycket snabbt då en stor del av utrymmets gasmassa antändes och därmed värmdes upp. I de fall brandgasantändning förhindrades förlängdes denna tid med en ökad volym tillfört vatten. I figur 6.15 kan det ses att temperaturen stabiliserade sig efter att luckan öppnats och låg på ett någorlunda konstant värde fram till att den åter började växa. Temperaturen stabiliserade sig mellan 300°C och 400°C i samtliga försök vilket kan ses i bilaga C. Det var främst denna del av återhämtningsförloppet som förlängdes med en ökad mängd vatten. När temperaturen åter började stiga skedde det på liknande sätt med ungefär samma förändringshastighet. Detta kan ses i figur 6.15 där de tre kurvorna (orange, röd och ljusblå) som motsvarar försök utan antändning har en liknande lutning under den avslutande temperaturökningen.



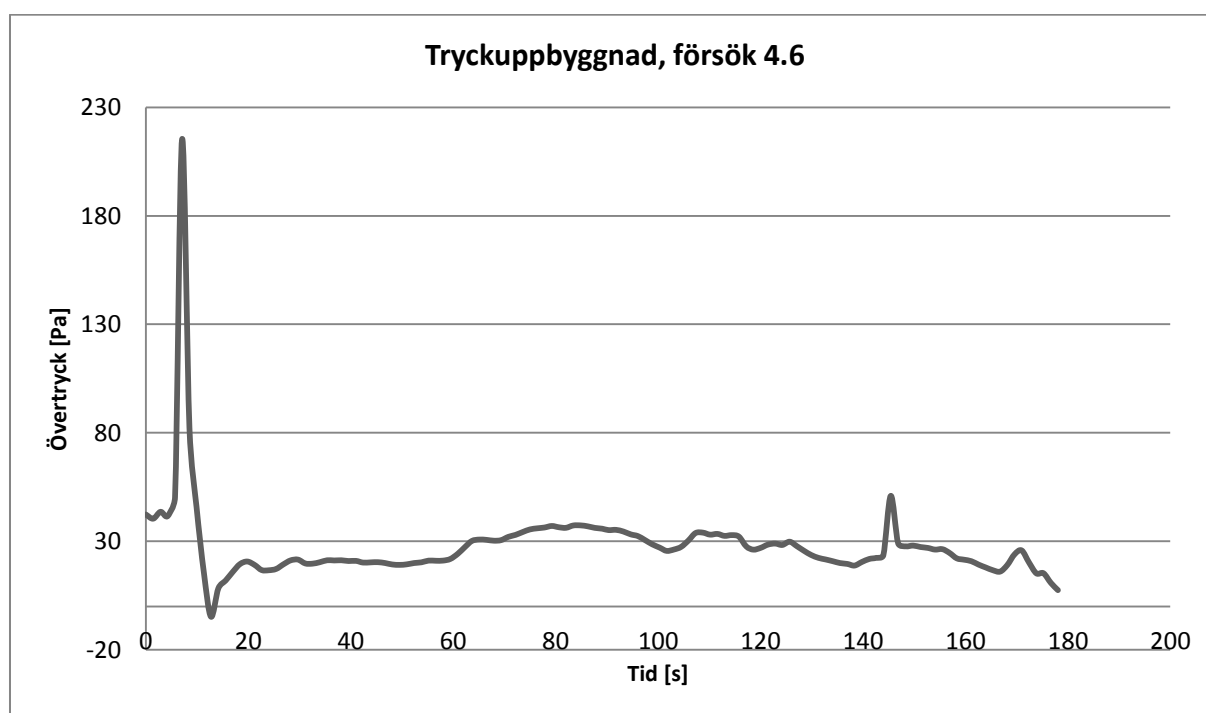
Figur 6.15. Temperaturutvecklingen för försök med olika volym tillfört vatten. Tiden från vattentillförsel till att temperaturen åter når sitt maximum förlängs med ökad volym tillfört vatten.

6.4 Tryckuppbyggnad

Då erhållna data bearbetades visade det sig att mätningarna med pitotrör inte gav önskat resultat. Tanken inför försöken var att med hjälp av dessa kunna rangordna intensiteten på eventuella backdräktförlopp. Det visade sig dock i efterhand att resultaten var väldigt instabila och vindens påverkan gav ibland större utslag än de strömmande brandgaserna. I de fall backdräktliknande förlopp faktiskt inträffade gick detta att utläsa i resultaten, men storleken på brandgasernas utströmningshastighet anses inte vara korrekt. Det visade sig också att det var fel på det översta pitotröret, som därför inte gav några resultat. På grund av detta behandlas inte in- och utflödesmätningarna vidare men för intresserade läsare finns ett utdrag av resultaten i bilaga E.

Utöver in- och utflödesmätningar genomfördes en statisktryckmätning centralt i rummet. Resultaten från denna bedöms dock inte vara helt tillförlitliga då containern var otät och tryckmätaren var av en enklare modell. Tryckmätaren registrerade de kraftigaste tryckförändringarna men storleken på dessa anses tveksamma. Trycket som registrerades under resterande del av brandförloppet anses inte heller korrekt. De stadier under förloppet som medförde stora tryckuppsbyggnader och därför gick att urskilja var då luckan stängdes, då vatten tillfördes och i de fall då kraftig brandgasantändning inträffade.

I samtliga försök skedde den största tryckuppsbyggnaden då luckan stängdes. Detta syns i figur 6.16 där den första stora toppen motsvarar stängning av luckan. Den tryckuppsbyggnad som registrerades vid stängning av luckan låg i storleksordningen 200 Pa under samtliga försök. Det högre trycket bibehölls inte eftersom brandgaserna trycktes ut genom containerns stora läckageöppningar, vilket noterades visuellt.

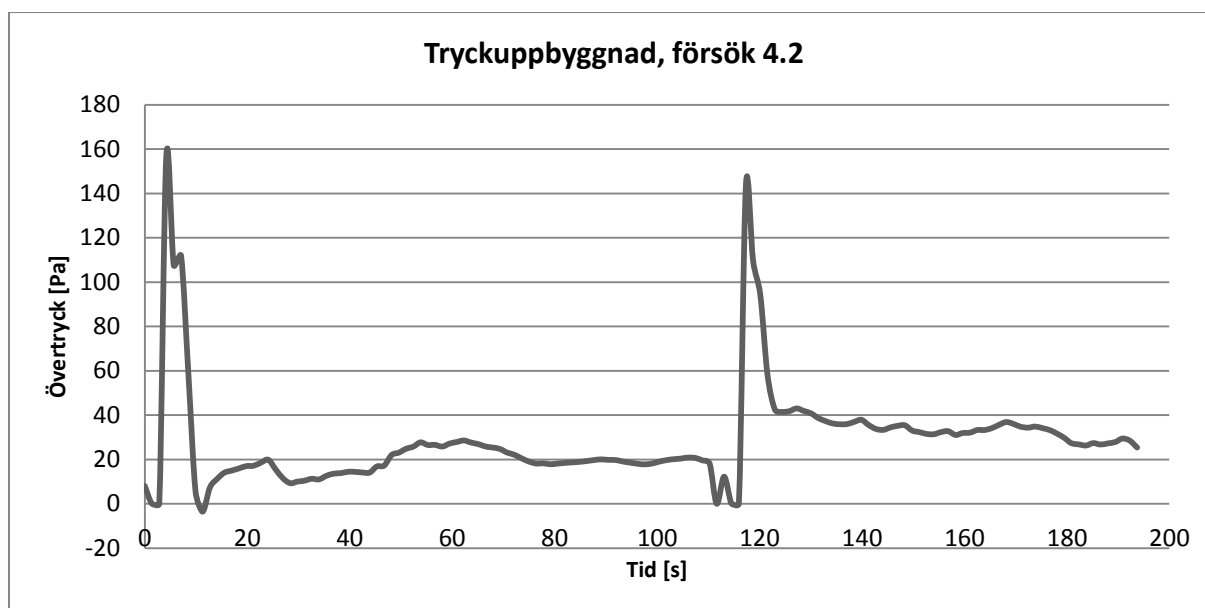


Figur 6.16. Statisk tryckuppsbyggnad i rummet. Den första toppen motsvarar stängning av luckan och den andra mindre toppen efter cirka 145 sekunder är till följd av den backdraft som skedde.

I figur 6.16 motsvarar den andra toppen efter cirka 145 sekunder den backdraft som inträffade i försök 4.6. Storleken på denna var endast cirka 60 Pa vilket bedöms lågt. Gojkovic (2001) presenterar resultat där övertrycket uppgår till över 200 Pa. Värdet 60 Pa var det högsta som registrerades och det uppmättes vid brandgasantändning i försök 4.6 vilket var det med kraftigast förlopp.

Ett intressant resultat, då trycket studerades, var att det skedde en stor tryckuppsbyggnad då vattnet tillfördes. Denna tryckuppsbyggnad kan ses i figur 6.17 där den första övertryckstoppen uppstod vid stängningen medan den andra skedde till följd av vattentillförsel. Noteras bör att det först skedde en mindre sänkning av trycket vilket förmodligen berodde på att brandgaserna kylades och därmed minskade i volym. Men vattnets expansion tog sedan över och ett övertryck uppmättes. Övertrycket varierade mellan försöken och låg i storleksordningen 100 till 200 Pa. Detta noterades även visuellt då en stor mängd vattenånga pressades ut genom containerns läckageöppningar, framförallt i

anslutning till dörren. Figur 6.18 är en bildserie tagen från försök 4.2 och här syns hur en stor mängd brandgaser och vattenånga pressades ut till följd av övertrycket.



Figur 6.17. Statisk tryckupbyggnad i rummet. Den första toppen motsvarar stängning av luckan och den andra toppen efter cirka 120 sekunder är till följd av vattentillförseln.

Att det skapades ett övertryck när vattnet påfördes överensstämmer inte med antagandet om att allt vatten förångades i brandgaserna. Istället är det förmodligen så att det första vattnet som kom in i rummet förångades och kylde brandgaserna. Men efterföljande vatten gick igenom de redan kyllda brandgaserna och förångades mot heta ytor. Därför uppstod först ett undertryck när brandgasernas volym minskade till följd av kylning. När efterkommande vatten sedan förångades mot heta ytor och expanderade utan att sänka brandgasernas temperatur uppstod ett övertryck. Att det uppstod både övertryck och undertryck överensstämmer alltså med teorin i kapitel 4.1.4 *Tryckupbyggnad*.



Figur 6.18. Bildserie tagen från försök 4.2. Tryckupbyggnaden som skedde i rummet pressade ut vattenånga och brandgaser genom läckageöppningarna.

7 Diskussion

Många intressanta resultat erhöles från försöken, dels från genomförda mätningar och dels från visuella observationer. Under arbetets gång har en rad osäkerheter och felkällor som inverkade på dessa identifierats. I detta kapitel förs en diskussion gällande de identifierade osäkerheterna och vilken inverkan de haft på resultaten. I kapitlet diskuteras även de erhållna resultaten med syfte att utvärdera dess giltighet för att utifrån detta kunna dra väl underbyggda slutsatser.

7.1 Osäkerheter och felkällor

Under de empiriska försöken uppkom osäkerheter och felkällor. Det finns många olika orsaker till detta, men för att minimera risken att dra felaktiga slutsatser görs ett försök att i möjligaste mån identifiera och utvärdera dessa faktorerers inverkan.

7.1.1 Önskad släckning av bränslet

De empiriska försöken genomfördes i en fraktcontainer med en mindre volym än de utrymmen dimspiken är dimensionerad för. Detta kan ha medfört att vattnet inte enbart påverkade brandgaserna utan även lyckades släcka branden och därmed tändkällan till en eventuell backdraft. I ett verkligt scenario består utrymmet oftast av flera rum med större volym. Den fina vattenspray som användes har då en begränsad förmåga att släcka branden eftersom denna kan befinna sig långt in i rummet eller i ett angränsande rum. I dessa fall handlar den inledande insatsen enbart om att angripa brandgaserna med vatten och inte om att försöka bekämpa branden. Under försöken var det svårt att avgöra om brandgasantändning uteblev på grund av att vattnet påverkade tändkällan eller av någon annan anledning. En möjlig åtgärd för att förhindra att vattnet skulle träffa bränslet, som diskuterades inför försöken, var att sätta upp en skyddande plåt framför pallarna. Detta skulle dock påverka den tyngdkraftsstyrda luftströmmen och omblandningen i rummet. Plåten skulle kunna jämföras med möbler i ett rum men den hade medfört nya osäkerheter då den skulle påverkat fler faktorer än bara luftströmmen. Plåten valdes bort eftersom nya osäkerheter inte var önskvärdt och sannolikheten att vattnet skulle släcka tändkällan ansågs liten inför försöken. Detta eftersom volymen släckmedel som tillfördes utrymmet var begränsad. Vattnet påfördes dessutom med små droppar vilka antogs förångas i brandgaserna innan de nådde fram till branden som var placerad cirka 5 meter in i rummet. Om något vatten mot förmodan skulle nå fram till bränslet antogs det vara i liten mängd och denna förväntades ej vara tillräcklig för att släcka branden. I efterhand kan det konstateras att vattnet aldrig lyckades släcka branden helt. Dock har det förmodligen påverkat tändkällans storlek och omfattning.

7.1.2 Felaktig volym tillfört vatten

Mängden släckmedel som tillfördes rummet uppskattades genom att flödet för aktuell utrustning var känt och påföringen skedde under en bestämd tid. Eftersom flödet var högt och volymen vatten som skulle tillföras var relativt liten så kunde små variationer i tid betyda stora skillnader i tillförd volym vatten. Även uppmätningen av flödet medförde felkällor. Flödet uppskattades med två grova metoder som båda innebar att vatten från dimspiken samlades upp i en stor behållare. Osäkerheterna i mätningen utgörs exempelvis av vattenspill vid uppmätning, eventuella fluktuationer i pumpen och felaktigheter i uppmätt tidsintervall. Felaktigheterna i uppmätt tidsintervall beror på att tidtagningen samt öppning och stängning av dimspiken utfördes manuellt av två olika personer. Att två metoder användes för att mäta flödet gjorde att resultaten kunde jämföras och på så sätt

minskades osäkerheterna. Oavsett om den tillförda vattenvolymen inte var exakt anses resultaten användbara eftersom de ger en indikering på vilken inverkan vatten har på en ventilationskontrollerad brand, vilket är det huvudsakliga syftet med rapporten.

7.1.3 Val av tider för öppning och stängning av luckan

Målet med försöken var att studera vattnets inverkan på ett underventilerat brandförlopp och hur risken för backdraft förändras då vatten tillförs det slutna utrymmet. Därför var det viktigt att skapa liknande och representativa förhållanden för en underventilerad brand i samtliga försök. För att skapa önskade förhållanden var det viktigt att luckan stängdes och öppnades vid rätt tidpunkt. Försöken genomfördes med ett solitt bränsle där mängden brännbara gaser som producerades berodde på många olika faktorer, exempelvis temperatur, tillgång till syre och så vidare. Detta i kombination med att koncentrationen av brännbara gaser inte kunde mätas gjorde det svårt att avgöra hur länge luckan skulle hållas stängd för att skapa ett representativt scenario. Om tiden rummet hölls stängt var för kort eller för lång kan det ha medfört att branden antingen slocknat eller att den ännu inte hunnit bli ventilationskontrollerad. Om den hölls stängd en för kort tid kan det också varit så att mängden brännbara gaser inte hunnit bli tillräckligt hög. För att minimera dessa felkällor bestämdes tidpunkten vid vilken dörren stängdes utifrån temperaturen i rummet samt rekommendationer från MSB:s instruktörer. Instruktörerna har stor erfarenhet av att skapa ett underventilerat förhållande med stor risk för backdraft i det aktuella utrymmet. När tiden för hur länge luckan skulle hållas stängd bestämdes lades stor vikt vid att försöken skulle vara reproducerbara. Därför valdes i samråd med MSB:s instruktörer tiden två minuter i första försöket och denna användes sedan i samtliga försök. Dessa felkällor var kända och beaktades då resultaten analyserades.

7.1.4 Variationer i typ av bränsle

Variationen i bränsle uppstod på grund av att det inte fanns en tillräckligt stor mängd enhetliga lastpallar under försöken. Som utgångspunkt var tanken att använda torra lastpallar av den standardiserade typen Europapall. Detta hade påverkat reproducerbarhet positivt eftersom alla pallar då hade haft ungefär samma uppbyggnad och vikt. Dessa tog dock slut och då användes antingen Europapallar som var något fuktiga eller lättpallar som hade tunnare virke, annan utformning och vikt. För att förhållandena skulle bli så lika som möjligt i de olika försöken trots denna variation bestämdes mängden bränsle utifrån vikten på samtliga pallar. Det krävdes därför ett större antal lättviktpallar för att uppnå samma vikt som i försöken med Europapall. Då försöken genomfördes var förhoppningen att typ av pallar skulle få en relativt liten inverkan på resultaten. Detta eftersom det var ett underventilerat förhållande med stor produktion av brännbara gaser som eftersträvades vilket borde ske oavsett bränslets fysiska uppbyggnad. Att det inledande brandförloppet, fram till att branden tvingades bli underventilerad, ser olika ut är självklart men då liknande förhållanden väl uppstått borde bränslets fysiska uppbyggnad ha mindre inverkan. Trots detta visade resultaten att typen av pallar som användes under försöken hade stor betydelse. Exempelvis skedde flest brandgasantändningar i försöksserie 3 och 4 där lättviktpallar användes. Då bör det även noteras att under försöksserie 4 användes den näst största volymen vatten på cirka 4 liter. Även i försöksserie 5 där något fuktiga Europapallar användes påverkade detta resultatet. Brandförloppet återhämtade sig långsammare och det krävdes hela 5 uppvärmningsförsök. Att bränslet fick relativt stor inverkan på resultateten antas bero på en rad faktorer. Lättviktpallarnas fysiska uppbyggnad var luftigare och tillät en större syretransport i konstruktionen än Europapallarna som var mer kompakta. Virket i lättviktpallarna var dessutom mer poröst och hade mindre

dimensioner vilket medförde större omslutningsarea per bränslevolym. Alla dessa faktorer kan ha lett till att en större del av bränslet deltog i förbränningen i de fall lättpallar användes. Om en större andel bränsle deltog i förbränningen kan det i sin tur ha lett till en högre temperatur i högen av pallar, en mer omfattande pyrolys och därmed till en högre koncentration brännbara gaser. Trots att variationen av bränsle påverkade resultaten uppvisade samtliga försöksserier stora likheter och då felkällan är känd kan slutsatser dras utifrån de empiriska försöken.

7.1.5 Uppvärmning av rummet

Uppvärmning av rummet ledde till variationer i förutsättningar mellan försöken och påverkade reproducerbarheten negativt. Variationerna uppstod dels på grund av att varje försöksserie innehöll flera försök i tät följd och dels på grund av att försöksserierna genomfördes med korta mellanrum utan att rummet tilläts svalna. Lättklinkerbetongväggarna värmdes därmed succesivt upp vilket eventuellt kan ha medfört bättre förutsättningar för brandgasantändning samt att brandförloppet återhämtade sig snabbare. För att helt komma från denna felkälla skulle rummet tillåts svalna till önskad stråtemperatur inför varje enskilt försök alternativt skulle en önskad förhöjd temperatur skapats inför varje försök. Att kyla rummet mellan försöksserierna hade varit möjligt men då tiden var begränsad hade det krävts vattenpåföring för att kyla väggarna. Detta var dock inte önskvärt eftersom rummet då hade innehållit en stor mängd vatten från start. Istället inleddes varje försöksserie med tre uppvärmningsförsök för att få en något förhöjd temperatur. För att minska osäkerheterna som felkällan medförde placerades även ett termoelement i väggen och temperaturen inför varje försöksserie noterades. Även starttemperaturen i containern noterades inför varje serie. Resultaten visade att temperaturen var högre i den senare delen av försöksserierna och här noterades det flest brandgasantändningar. Dock var variationen mellan respektive försöksserie liten vilket påvisar reproducerbarhet. Felkällan kvarstår och den har beaktats då resultaten jämfördes. Det var till exempel intressantare att jämföra ett sent försök inom serien med ett sent försök i en annan serie. Noteras bör dock att denna felkälla inte endast påverkar reproducerbarheten utan även möjligheten att generalisera resultaten på ett verkligt scenario. Försöksrummets begränsade storlek gör att omslutningsarean är stor i förhållande till rumsvolymen jämfört med ett verkligt rum. Detta i kombination med att lättklinkerbetongväggarna lagrade en stor mängd värme gjorde att gasmassans temperatur påverkades i större utsträckning.

7.1.6 Vindens inverkan

Vinden hade stor inverkan på brandförloppet och då kanske framförallt på risken för backdraft. Även Gojkovic (2001), som genomfört sina försök på samma plats, påvisar i sitt arbete att backdraftförloppet är vindkänsligt. Detta beror på att vinden skapar olika tryckförhållanden runt containern beroende på riktning och styrka. Dessa tryckförhållanden kommer i sin tur påverka den gravitationsstyrda luftströmmen. Då försöken genomfördes blåste det mot containerns öppning vilket borde medfört ett större inflöde samtidigt som utflödet fick arbeta mot ett övertryck. Det borde även skapat mer turbulens och en större utblandning av brandgaserna i containern. Då brandgaserna kom utanför öppningen kan vinden även gjort att de fortare spädades ut och blev oantändbara. Guigay et al (2008) skriver att ett felaktigt användande av en fläkt för att evakuera brandgaserna, det vill säga ingen frånluftsöppning, kan leda till en ökad risk för backdraft. Detta skulle kunna jämföras med vindens påverkan men stämmer i så fall inte överens med utfallet i försöken. I samtliga försöksserier utom serie 4 var vinden relativt stark med kraftiga vindbyar. Försöksserie 4 däremot genomfördes en morgon då det var vindstilla och i denna serie skedde flest brandgasantändningar samt den kraftigaste backraften. Detta tyder på att vind mot öppningen inte

gynnar en brandgasantändning. Vinden var väldigt byig under försöken vilket kan ha medfört att ut och inflödet genom öppningen blev upphackat. Brandgaserna kan då ha portionerats ut i mindre delar som spreds direkt när de kom utanför öppningen. Detta medförde att det inte fanns någon stor sammanhängande gasmassa som kunde antändas. Det kan konstateras att vinden påverkade resultatet och är därmed att se som en felkälla. Olika vindstyrka och riktning under de olika försöken påverkade reproducerbarhet negativt och att försöken genomfördes i en relativt kraftig vind kan ha medfört att de inte är att se som ett värsta scenario. För att minska osäkerheten genomfördes ett försök att mäta vindens stryka och riktning men då den var väldigt byig och blev turbulent runt containern var detta inte helt lätt. Det som kunde konstateras var att vindförhållandena under försöksserie 4 avvek från övriga.

7.1.7 Begränsningar i tillgänglig mätutrustning

Under de empiriska försöken var tillgången till mätutrustning begränsad till att endast kunna mäta temperatur och tryck. Det fanns ingen utrustning för att mäta gaskoncentrationer, vilket medförde att vattnets spädande effekt inte kunde utläsas. Detta var en begränsning eftersom tidigare utfört arbete påvisar att det är just denna egenskap som förhindrar backdraft. Denna begränsning konstaterades tidigt men det bedömdes att de mätningar och iakttagelser som var möjliga att genomföra skulle ge tillräcklig information för att kunna dra slutsatser om vattnets effekt. I efterhand kan det konstateras att koncentrationsmätningar hade varit mycket intressant. Men trots det erhöles relevanta och användbara resultat från de utförda mätningarna.

Backdraftförloppet sker mycket snabbt och kräver därför känsliga termoelement för att de snabba variationerna skall kunna registreras. Samtidigt genomfördes flera försök med höga temperaturer vilket ledde till en hög temperaturlastning på termoelementen. En avvägning gjordes därför mellan tunna känsliga termoelement och något grövre, långsammare men istället något mer tåliga. Slutligen valdes något grövre termoelement. Det var främst i de fall brandgaserna antändes samt vid vattnets förångning som förändringar i temperatur skedde väldigt snabbt och det hade varit önskvärt med tunna termoelement. I alla övriga fall går temperaturförändringarna långsammare och felmätningar på några grader har förmodligen inte lett till felaktiga slutsatser. Temperaturen mättes på flera olika platser och höjder i containern för att i möjligaste mån täcka in felaktiga variationer och för att kunna studera skillnader.

7.1.8 Mänskliga faktorer

Även den mänskliga faktorn är en stor felkälla då stora delar av försöken byggde på handlingar som utfördes av olika personer. Exempelvis så öppnades dörren manuellt, tidpunkten för öppning byggde till största del på tidigare erfarenhet och släckmedlet tillfördes manuellt. Alla dessa moment krävde mänskliga handlingar vilka innebar att osäkerheter uppstod då variation i tid och utförande kan ha förekommit. Eftersom försöken filmades kunde det i efterhand konstateras att utförandet inte varierade nämnvärt mellan försöken.

7.1.9 Öppningsgeometri

I samtliga försök öppnades endast den övre delen av dörren. Detta medförde förmodligen annorlunda resultat jämfört med de som skulle erhållits om hela dörren hade öppnats. Anledningen till att det blir skillnad i utfallet med olika öppningsgeometri beror framförallt på att den gravitationsstyrda strömningen som uppstår får olika utseende. Om öppningen ser ut som i försöken, en lucka mitt på väggen, kommer turbulensen förmodligen bli större än med en hel dörr och därmed sker en bättre omblandning av gaserna. De instruktörer från MSB som var behjälpliga vid försöken

konstaterade från tidigare erfarenhet att den här typen av öppning gav det värsta utfallet. Trots att detta avviker från ett verkligt scenario med dörr var det önskvärt att återskapa värsta tänkbara scenario i containern. Därför gjordes valet att endast öppna den övre luckan. Dock kan det inte garanteras att det faktiskt ledde till ett värsta scenario. För att säkerställa detta skulle försök med olika öppningsgeometrier behöva genomföras. Men det bedöms troligt utifrån erfarenhet och resonemang.

7.1.10 Rummet är inte i fullskala

En felkälla uppstod eftersom försöksrummet inte riktigt är att se som ett fullskaligt brandrum. I försöksrummet var takhöjden cirka 50 cm lägre och bredden på rummet cirka hälften av ett vanligt rum i en bostad. I ett verkligt scenario består byggnaden dessutom oftast av flera rum. Detta i kombination med att den släckutrustning som användes var fullskalig och dimensionerad för insatser mot större bränder gör att felaktigheter kan uppstått. En direkt följd av detta är att i ett normalstort rum skulle vattensprayen från dimspiken ha en större volym att sprida ut sig i och den skulle därför inte träffa omslutningsytor i samma utsträckning. Under försöken användes en väldigt liten volym vatten i förhållanden till vad utrustningen är dimensionerad för. Den begränsade volymen medförde att dimspiken användes under mycket korta sekvenser vilket skiljer sig i utförande från en verklig insats. Det är också så att brandförloppet skulle kunna bete sig annorlunda då uppvärmningen går fortare än i ett fullskaligt rum. Alla dessa faktorer gör det svårare att generalisera resultaten för ett verkligt scenario. Det är svårt att få tillgång till fullskaliga lokaler att genomföra försöken i. Eftersom försöken genomfördes i ett så pass stort rum att verklig räddningstjänstutrustning faktiskt kunde användas blir resultaten intressanta. Alternativet är annars småskaliga brandrum och då måste till exempel vattentillförseln samt branden skalas ner vilket leder till andra felkällor.

7.2 Resultat

Vattnets förmåga vid en inledande insats mot en ventilationskontrollerad brand utvärderades utifrån försök genomförda utomhus i stor skala med räddningstjänstens ordinarie utrustning och med ett träbaserat bränsle. Detta utgör både försökens styrka och svaghet. Svagheten beror på att metoderna som användes var grova och noggranna mätningar var svåra att genomföra vilket medförde en rad osäkerheter. En del kunde identifieras innan och i möjligaste mån minskas, andra upptäcktes i efterhand och förmodligen finns det ytterligare några som aldrig konstaterades. Detta gör det svårt att dra slutsatser från erhållna mätvärden. Styrkan i försöken utgörs av att de utfördes i så pass stor skala att räddningstjänstens ordinarie utrustning kunde användas och att förhållandena till stor del liknade ett verkligt scenario. Detta medför att resultaten ger en verklig bild av vattnets förmåga att påverka det ventilationskontrollerade brandförloppet vid en inledande räddningstjänstinsats. En del av de identifierade osäkerheterna uppstod på grund av att försöken genomfördes under en begränsad tid, men även detta kan ses som en styrka eftersom omgivningsförhållandena därmed var lika under samtliga försök. Om försöken spridits ut över en längre tid hade det medfört större variationer i omgivningsförhållanden. En hel del intressanta iakttagelser och resultat har noterats vilka diskuteras i detta avsnitt för belysa och förklara de delar författarna anser viktigast.

7.2.1 Brandgasantändning

Under de empiriska försöken genomfördes 21 med vatten och 14 utan. När resultaten sedan studerades kunde det konstateras att brandgasantändning skedde i 15 av de totalt 35 försöken. I åtta fall skedde antändning i försök utan vattentillförsel vilket motsvarar 57 procent av fallen. Det var

endast i ett fall som antändning skedde i det första försöket i försöksserien, vilket innebär att 88 procent av antändningarna skedde i den senare delen av försöksserierna. Under försöken där vatten tillfördes blev utfallet antändning i 33 procent av fallen och även här kan det konstateras att antändning blev vanligare i ett senare skede av försöksserierna. Detta då ingen antändning skedde under det första försöket med vatten i någon av försöksserierna. Att antalet brandgasantändningar ökade längre in i försöksserierna skulle kunna förklaras med att det skedde en temperaturuppyggnad i rummet. Vilken ledde till att brandgaserna och konstruktionen fick en allt högre temperatur med ett ökat antal genomförda försök i rad. En högre temperatur leder till att pyrolysen av bränslet ökar vilket i sin tur leder till en högre koncentration brännbara gaser. Den högre temperaturen gör även att brandgasernas brännbarhetsområde blir större och dessa faktorer gör tillsammans att sannolikheten för antändning ökar. En annan iakttagelse var att andelen bränsle som deltog i branden vid tillfället då bålet kunde siktas, efter öppning av luckan, var större i den senare delen av försöksserierna. Detta kan ha bidragit till att fler antändningar skedde i det senare skedet av försöksserierna då en större tändkälla fanns tillgänglig under dessa försök. Att en större del av bränslet deltog i branden medförde även att det troligen var varmare i bränslebålet och att pyrolysen av träpallarna var större.

Av totalt 15 brandgasantändningar skedde 8 stycken i försöksserie 3 och 4 vilket är lite drygt hälften. Dessa försöksserier skiljer sig från de andra då de utfördes med endast lättpallar som bränsle. Detta tyder på att typ av bränsle hade betydelse och då inte bara gällande material utan även hur det är utformat eftersom samtliga pallar var av obehandlat trä men med olika form och storlek. En mer utförlig diskussion om möjliga orsaker till detta förs i kapitel 7.1.4 *Variationer i typ av bränsle*.

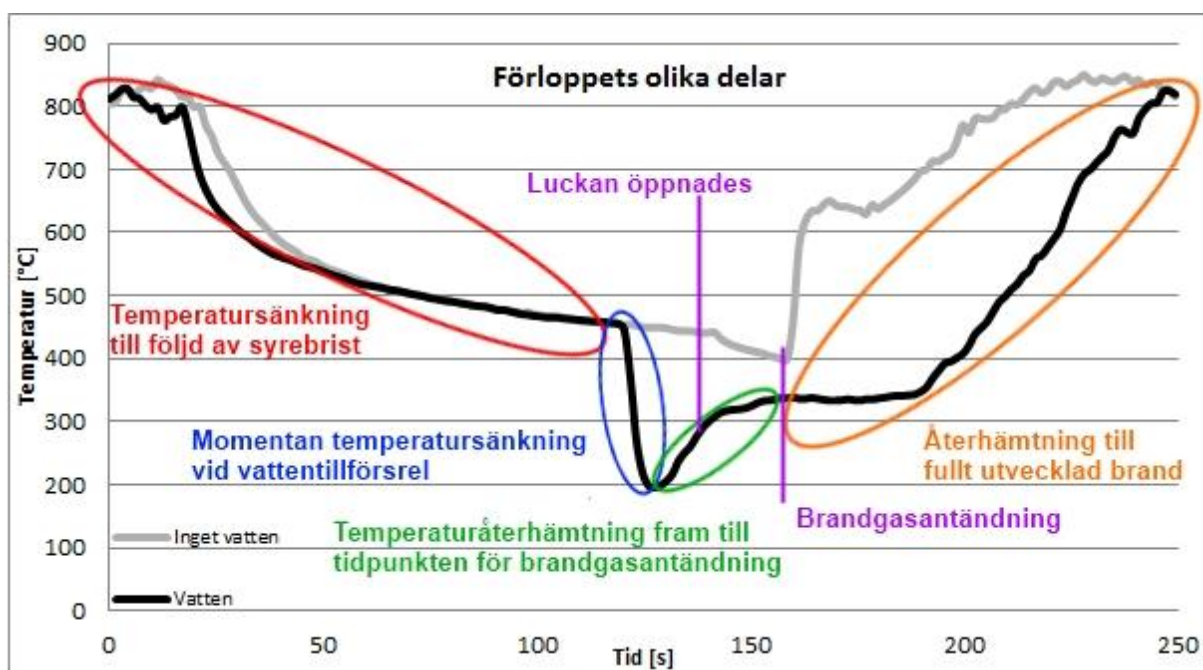
Det kan alltså konstateras att försöksserie 3 och 4 utmärker sig från övriga. I försöken med vatten under försöksserie 4 tillfördes mellan 3,5 och 4,5 liter vatten vilket gör denna serie till den med näst störst tillförd volym. Trots detta skedde tre antändningar med vatten och en utan, vilken var den kraftigaste antändningen under samtliga försök. Det skedde förvisso även många antändningar i försöksserie 3 men här var den tillförda vattenvolymen bara drygt hälften så stor. Detta gör försöksserie 4 speciell och det som skiljer den från alla de övriga serierna är omgivningsförhållandena då det var i princip vindstilla. Under alla de övriga försöken var det betydligt mer vind med kraftiga byar. Detta skulle kunna vara anledningen till utfallet och det skulle exempelvis kunna bero på att vinden påverkade inflödet av luft till rummet samt att den blandade ut och sänkte koncentrationen av brännbara gaser i öppningen. För en mer utförlig diskussion om detta se kapitel 7.1.6 *Vindens inverkan*.

Tiden som varade från att luckan öppnades till att brandgaserna antändes och lågor slog ut genom öppningen låg mellan 20 och 30 sekunder i 13 av 15 försök. De enda försök som sticker ut är 4.6 och 6.7 där tiden var 18 respektive 16 sekunder. Dessa två försök låg sent i respektive försöksserie och resultaten uppvisar en svag tendens till att antändningen skedde efter en kortare tid i ett senare skede av serierna. Detta kan troligen förklaras med en högre temperatur och i flera fall en bättre tändkälla då en större del av bränslet deltog i branden vid dessa tidpunkter. Dock kan det inte noteras några skillnader i tid till antändning beroende på hur mycket vatten som tillfördes. Tiden till brandgasantändning förlängdes alltså inte då volymen tillfört vatten ökade utan låg i samma intervall. Detta tyder på att det är vattnets spädande förmåga som förhindrar brandgasantändning. För antingen uppstår en brännbar blandning och antänds den så sker det i detta tidsintervall eller så antas inte rätt koncentrationer vilket leder till att antändning uteblir. Det skall dock poängteras att

det tidigare under detta diskussionsavsnitt uppmärksammats många möjliga orsaker till att brandgasantändning uteblir. Detta gör att det inte går att säkerställa att utspädningen var den avgörande effekten för att förhindra brandgasantändning. Utifrån erhållna resultat och litteraturstudien kan det dock konstateras att det troligtvis är så.

7.2.2 Vattnets inverkan på temperaturutvecklingen

För att underlätta diskussionen kring vattnets inverkan på det underventilerade brandförloppet används tidigare indelning enligt figur 7.1.



Figur 7.1. Förloppets olika delar är inringade och tidpunkterna då luckan öppnas samt då brandgasantändning skedde är markerade.

Momentan temperatursänkning vid vattentillförsel

I samtliga försök där vatten påfördes skedde ett nästan momentant temperaturfall vilket är blåmarkerat i figur 7.1. Det dröjde några få sekunder från det att vattentillförseln startade till att det kraftiga temperaturfallet skedde. Temperaturfallet registrerades under 4-11 sekunder men då termoelementen var relativt grova skedde temperatursänkningen förmodligen ännu hastigare. Detta kraftiga temperaturfall anses vara ett tecken på att en stor del av vattnet förångades i brandgaserna. Då vattnet förångas i brandgaserna upptas energin från dessa och då krävd energimängd är stor resulterar det i en stor temperatursänkning. Om den största delen av vattnet istället förångades mot heta ytor i rummet skulle energin tas från dessa och brandgaserna endast tillföras vattenånga med temperaturen 100°C. Att det skedde ett hastigt temperaturfall då vattnet övergick från flytande till gasform stämmer alltså överens med teorin och var inget oväntat. Dock borde den tillförda vattenvolymen rent teoretiskt räcka till att sänka temperaturen hela vägen ner till 100°C vilket inte skedde. I brandgaslagret sänktes temperaturen i medel från cirka 450°C till 270°C vilket innebär en sänkning på 180°C. Om man istället utgick ifrån samtliga mätpunkter i rummet, i samtliga försök kunde en temperatursänkning på mellan 60°C och 320°C konstateras. Det skulle kunna bero på att allt vatten inte förångades i brandgaserna vilket den teoretiska beräkningen antar. Det kan också bero på att beräkningen endast behandlar den energi som finns i brandgaserna och inte beaktar omgivande heta ytor. Den stora mängden lagrad värme som fanns i väggarna kunde inte sänkas med

de små vattenmängder som användes under försöken. Även om allt vatten hade förångats i brandgaserna hjälpte de varma väggarna till att bibehålla en högre temperatur i containern.

Utifrån det stora temperaturfallet verkar det som att en stor del av vattnet förångades i brandgaserna. Dock blev temperatursänkningen större längre in i rummet vilket tyder på att vattendropparna hann förbi de första tre termoelementen innan de förångades. Förmodligen beror detta på att utgångshastigheten var hög och kastlängden i det fria cirka 5,5 meter. Detta kan vara ett tecken på att en begränsad volym vatten hann förångas i brandgaserna.

Temperaturåterhämtning fram till tidpunkten för brandgasantändning

Efter att det momentana temperaturfallet skett återhämtar sig temperaturen relativt snabbt vilket syns i det grönmarkerade området i figur 7.1. Resultaten i kapitel 6.4 *Vattnets inverkan på temperaturutvecklingen* visade att oavsett vid vilken temperatur vattnet tillfördes och i vilken volym återhämtade sig temperaturen till att ligga mellan 300°C och 450°C vid tidpunkten för antändning.

Att temperaturen stabiliserade sig vid denna nivå skulle kunna förklaras med att det var den temperatur som omslutande konstruktion antagit. Inga temperaturmätningar genomfördes på konstruktionens yttemperatur och det kan därför inte säkerställas att så var fallet.

Lättklinkerbetongblocken är bra på att lagra värme och det skulle krävas att en stor mängd vatten träffade dessa för att påverka den temperatur de antagit. Omslutningsarean var dessutom stor i förhållande till gasvolymen jämfört med ett verkligt rum. På grund av detta har konstruktionens lagrade värme troligen fått stor inverkan på gasernas temperatur. Detta är som tidigare nämnts en felkälla eftersom försöksrummets utförande får större inverkan på gasmassans temperatur än i ett verkligt scenario. Detta skulle kunna betyda att den kylande effekt som vattnet åstadkommer kan få större genomslag i ett verkligt scenario. Temperaturåterhämtningen skulle troligtvis inte bli lika stor och brandgastemperaturen stabilisera sig på en lägre nivå.

För att lättare kunna jämföra temperaturutvecklingen normerades denna så att alla försök antog temperaturen 400°C vid tidpunkten för vattentillförsel. Normeringen medför att temperaturvariationerna som skedde är korrekta men att den faktiska temperaturen inte längre stämmer. Temperatursänkningen som skedde då vatten tillfördes var beroende av utgångstemperaturen men det var även återhämtningen. Detta i kombination med att utgångstemperaturerna varierade med som mest 100°C gör att denna normering bedöms riktig. Då temperaturerna normerats var skillnaden vid tidpunkten för brandgasantändning som mest cirka 70°C mellan försöken.

Temperaturåterhämtningen avtog då luckan öppnades och temperaturen i försöken utan vatten sänktes när den kalla luften strömmade in. Det hade därför varit intressant att se hur temperaturutvecklingen fortsatt om luckan hade hållits stängd en något längre tid. Graferna över försökens temperaturvariation antyder att temperaturdifferensen då hade blivit ännu mindre.

Det kan alltså konstateras att det skedde en olika stor och snabb återhämtning i försök med olika volym vatten. Detta ledde till att temperaturen efter normering antog liknande värden vid tidpunkten för brandgasantändning i samtliga försök. Det vill säga oavsett om vatten tillfördes eller ej. Detta tyder på att vatten i små mängder har en begränsad förmåga att motverka brandgasantändning enbart genom kylning. Resultaten visar istället på att det troligen är vattnets spädande effekt som har störst inverkan vilket stämmer bra överens med slutsatser från tidigare

utförda arbeten inom området. Att det är vattnets spädande effekt som har störst inverkan när det gäller att förhindra brandgasantändning konstateras exempelvis av Gottuk et al (1999) samt Weng & Fan (2002). Ett av delmålen med försöken var att konstatera hur stor volym vatten som behövde tillföras utrymmet för att förhindra brandgasantändning. På grund av detta genomfördes inte försök med en större volym, då önskad effekt uppnåts. Om mer vatten tillförts hade vattnets kylande egenskaper kunnat få ett större genomslag och temperaturutvecklingen blivit annorlunda. Framförallt gällande brandförloppets återhämtning i de fall då brandgasantändning förhindrades.

Återhämtning till fullt utvecklad brand

Den avslutande delen av det studerade brandförloppet är orangemarkerat i figur 7.1 och här växer branden åter till sitt maximum. Tiden som denna del av förloppet varade var mycket beroende av om brandgasantändning skedde eller inte. I de fall antändning skedde var detta förlopp kort och mängden tillfört vatten hade liten eller ingen inverkan. Dock kan det konstateras att i de fall brandgasantändning förhindrades förlängdes detta förlopp med ökad volym tillfört vatten. Det var framför allt tiden som varade då temperaturen var i stort sett konstant som förlängdes. En ökad volym tillfört vatten gjorde att det tog längre tid innan branden växte i omfattning vilket kan ha berott på flera orsaker. En av orsakerna kan ha varit att en ökad volym vatten gjorde att branden i större utsträckning begränsades redan vid påföringen och därför fick svårare att återhämta sig. Det kan också varit så att en större mängd närvarande vattenånga gjorde att brandens tillväxt hämmades då vattenångan fortfarande krävde energi vilken togs från reaktionerna. Slutligen skulle det även kunna vara så att vatten träffade delar av bränslet, kylde detta och på så sätt försvårade återantändning. När branden åter fått fäste i bränslet och temperaturen börjat stiga skedde detta på liknande sätt oavsett volym tillfört vatten.

Slutsatsen från denna diskussion är att det primära vid en inledande insats mot en ventilationskontrollerad brand är att förhindra brandgasantändning. Här konstateras att vattnets spädande effekt troligen har störst inverkan vilket gör att kylningen av brandgaserna i detta sammanhang får mindre betydelse. Resultaten visar också att vatten redan i små volymer har en förmåga att förbättra förhållandena så att brandmännen kan ta sig in för att bekämpa branden. En invändig insats är nödvändig då vatten i små mängder har en begränsad förmåga att släcka branden vid en inledande insats. Detta konstaterades eftersom branden i samtliga försök återantände och växte under varierande tid till att åter vara fullt utvecklad med lågor ut genom öppningen. Den begränsade förmågan att bekämpa branden helt under försöken berodde troligtvis på att lite eller inget av vattnet nådde fram till bränslet. I de flesta fall krävs detta för att släcka glöden och förhindra att branden växer då syre tillförs. Att lyckas träffa branden med vattnet i en inledande utvändig insats blir svårare i verkligheten då brandutrymmet med största sannolikhet består av fler än ett rum.

7.2.3 Tryckuppbbyggnad

Enligt tidigare diskussion verkar det som att en stor del av vattnet förångades i brandgaserna. Om allt vatten förångas i brandgaserna borde det enligt teorin ge upphov till ett undertryck i rummet. Det beror på att de varma brandgasernas volymminskning, på grund av temperaturförändringen, är större än expansionen som sker då vattnet förångas. Särndqvist (2006) presenterar ett teoretiskt exempel som säger att det räcker med att 30 procent av vattnet förångas i 600°C varma brandgaser för att de två volymförändringarna skall ta ut varandra och trycket förbli oförändrat. Detta är dock bara ett teoretiskt exempel som bygger på en rad förenklingar och antaganden. I utförda empiriska försök skedde inledningsvis en mindre tryckminskning på grund av att brandgasvolymen krympte

men sedan registrerades ett kraftigt övertryck. Övertrycket skedde cirka tre sekunder efter att vattentillförseln startade och noterades både visuellt och med den statiska tryckmätare som fanns i rummet. Vattenånga och brandgaser expanderade ut genom läckageöppningarna. Detta förklaras troligtvis med att en större del av vattnet än förväntat förångades mot heta ytor. Framförallt eftersom utrustningen som användes är dimensionerad för större utrymmen än försökscontainern. Utgångshastigheten är relativt hög och enligt mätningar är kastlängden i det fria cirka 5,5 meter vilket kan ha lett till att en del droppar inte hann förångas innan de nådde väggar och golv. Det kan också vara så att brandgasvolymen som vattensprayen först träffade kylde och efterföljande droppar gick sedan igenom den redan kylda gasen utan att förångas. Att mer än 70 procent träffade heta ytor anses dock i högsta laget på grund av de höga temperaturerna i rummet, de små vattendroppar som höghtrycksdimspiken skapar samt det momentana temperaturfall som skedde.

Det teoretiska värdet 70 procent bygger på en förenklad adiabatisk energibalans där det antas vara en oändlig volym gaser att kyla samt en utgångstemperatur på 600°C. Beräkningar utifrån energibalansen i kapitel 4.3.1 *Kylning* visade att det endast krävs 1,8 liter vatten för att sänka hela gasvolymen från 600°C till 100°C. I verkligheten krävdes det dock betydligt mer, i försöksserie 6 krävdes det cirka 6,4 liter för att sänka brandgaslagrets temperatur från cirka 450°C till 200°C. Om beräkningen genomförs för denna temperatursänkning visar det sig att det endast krävs 1,1 liter vatten. Men energibalansen bygger på att allt vatten förångas i brandgaserna och om detta inte stämmer blir denna beräkning felaktig. Om endast 30 procent förångades i brandgaserna och därmed användes effektivt till kylning resulterar det i att endast 2 liter ($0,3 \cdot 6,4 = 2$ liter) av de tillförda 6,4 utnyttjades. Då tas dessutom ingen hänsyn till att vattnet som förångats mot heta ytor också till viss del kan kyla brandgaserna. Detta anses dock vara en rimlig förenkling eftersom den största energimängden går åt vid själva förångningen. Det betyder att energibalansens beräknade värde 1,1 liter fortfarande är cirka hälften av de 2 liter som faktiskt krävdes. Ekvation 4 i kapitel 4.1.4 *Tryckupbyggnad* används för att beräkna volymförändringen och den är uppbyggd av energibalansen kombinerad med allmänna gaslagen. Om det enligt energibalansen krävs hälften så stor volym vatten jämfört med försöken för att uppnå den faktiska temperatursänkningen kommer det att påverka resultatet från ekvation 4. Brandgasernas volymminskning till följd av temperatursänkningen är densamma i de teoretiska beräkningarna och försöken trots att det i försöken tillförs en större volym vatten. Detta medför att den förångade vattenvolymen blir större i försöken och ett övertryck skapas. Därmed kan det konstateras att de teoretiska beräkningarna bakom förhållandet 70/30 inte är helt applicerbara på de genomförda försöken.

Utifrån resultaten och diskussionen ovan kan det konstateras att det förmodligen är så att en del av vattnet har förångats i brandgaserna och en del mot heta ytor i rummet. Tryckförändringarna som skedde i rummet förklaras troligtvis bäst med tidigare resonemang om att det första vattnet som träffar brandgaserna kyler dessa och att efterföljande förångas mot heta ytor. Därför uppstod först en volymminskning och därmed ett undertryck följt av en volymökning som resulterade i ett övertryck. Därmed är erhållna resultat samstämmiga med teorin. Hur stor andelen som träffat respektive är dock svårt att konstatera.

7.3 Applicerbarhet på verkliga scenarier

De empiriska försöken är förenade med en rad osäkerheter och felkällor. Dessa uppkom främst på grund av att de utfördes i stor skala utomhus, med träbaserat bränsle och räddningstjänstens ordinarie utrustning. Detta i kombination med att tillgången till mätutrustning och tid var begränsad

har påverkat säkerheten i resultaten och gjort det svårt att dra slutsatser som går att generalisera för ett verkligt scenario.

Det har konstaterats att det krävdes cirka 6 liter vatten för att förhindra brandgasantändning. Detta värde gäller för den här rapporten och om försöken återupprepades enligt samma procedur skulle resultaten troligtvis bli något annorlunda. Dock skulle det med största sannolikhet gå att utläsa resultat med liknande mönster. Temperaturvariationerna hade skett på liknande sätt men med andra faktiska temperaturer. Resultaten som erhöles är därför ingen direkt sanning och det kan inte säkerställas att brandgasantändning uteblir i samtliga fall om 6 liter vatten tillförs utrymmet.

Inriktningen var att försöken skulle gälla vatten i allmänhet och inte enbart specifikt dimspiken. Det var alltså inte verktyget dimspiken som utvärderades utan snarare vattnets förmåga att bekämpa eller begränsa en ventilationskontrollerad brand. Resultaten har visat på att vattentillförsel med dimspik medför att en brandgasantändning kan förhindras samt att brandförloppet återhämtning fördröjs. Dock medförde den begränsade volymen vatten aldrig att branden helt bekämpades vilket inte heller var syftet med försöken. Detta resultat antas vara generaliserbart för annan utrustning som tillför ett slutet utrymme vatten i små droppar utan att någon stor öppning skapas.

Skärsläckaren förväntas därför ha en god förmåga vid insats mot en ventilationskontrollerad brand, eftersom den har egenskaper som liknar dimspikens. Den har dessutom ett högre flöde samt en längre kastlängd vilket borde kunna vara till fördel då verkliga insatser utförs mot större utrymmen.

Skärsläckaren kan i dessa fall nå längre in i rummet och därigenom påverka en större volym brandgaser.

Det man bör ha i åtanke då resultaten från försöken appliceras på verkliga scenarier är att i de fall dimspik och skärsläckare används, kommer tillförseln av vatten inte bara vara under en kort sekvens. Istället låter man vattnet flöda under en längre tid för att uppnå önskad effekt.

Försöken har visat på vilken effekt en liten mängd vatten får på brandförloppet och risken för brandgasantändning. De korta tidsintervall under vilka vattnet påfördes skulle eventuellt mer kunna jämföras med tekniken "door entry technique" som just bygger på att vattnet appliceras i korta intervall. Vattentillförseln sker här med en helt annan droppstorlek och spridningsbild samtidigt som luft tillåts strömma in i utrymmet. Men vattnet kommer fortfarande förångas någonstans i rummet och förhindra brandgasantändning tack vare dess spädande effekt. Kylningen kommer förmodligen inte bli lika effektiv och hur brandförloppet återhämtar sig kommer därför se annorlunda ut.

Eftersom luft tillåts strömma in i rummet skulle metoden förmodligen även få andra konsekvenser. Syre tillkommer vid varje öppning, blandas med de antändbara gaserna och skulle kunna medföra att tiden till antändning blir kortare när dörren till slut öppnas. Att en brandman befinner sig i öppningen medför också att turbulensen ökar och gaserna blir därmed bättre omblandade. Det som antagligen blir svårt är att avgöra när önskat resultat faktiskt uppnåtts. Vid försöken uppvisades inga tydliga tendenser på om en antändning skulle ske eller inte direkt efter att luckan öppnats. Efter en stund gick det ibland att se antydningar på att en antändning var på väg men då var den redan nära och det skulle vara försent att vidta ytterligare åtgärder. Det gick inte heller att veta om utfallet skulle bli en kraftig backdraft eller lugnare brandgasantändning.

Som tidigare nämnts i avsnitt 7.1.10 *Rummet är inte i fullskala* anses inte försöksbrandrummet vara jämförbart med ett verkligt brandrum. Man kan anta att försöksutrymmets volym är ungefär 2 till 4 gånger mindre än ett normalt rum i en bostad och 5 till 10 gånger mindre än en lägenhet. Att skala om de konstaterade vattenvolymererna så att de passar fullskaliga rum vore önskvärt. Förhoppningen är då att vattenmängden skulle vara proportionell mot rumsvolymen vid en inledande insats. Detta är

ingenting som den här rapporten kan säkerställa. Men i så fall skulle det krävas cirka 60 liter vatten för att förhindra brandgasantändning i en lägenhet vilket inte bedöms helt orimligt. Här beror det självklart på en mängd andra faktorer än endast rumsvolymen. I arbetet utfört av Andersson & Holmstedt (1997) konstaterar de att, då vattendimma används, krävs det mellan 150 och 200 gram vatten per kubikmeter rumsvolym för att släcka en brand. I de egna utförda försöken uppnåddes önskad effekt vid cirka 6 liter vatten vilket motsvarar 260 gram per kubikmeter rumsvolym. Här uppvisas en viss överensstämmelse vilket tyder på att de uppmätta vattenvolymererna skulle gå att skala upp till större volymer.

8 Slutsatser

Under arbetet med att utvärdera vattnets inverkan vid en inledande insats mot en ventilationskontrollerad brand har en rad osäkerheter och felkällor identifierats. Dessa uppkom främst på grund av att de empiriska försöken utfördes i stor skala utomhus med träbaserat bränsle och räddningstjänstens ordinarie utrustning. Detta i kombination med att tillgången till mätutrustning och tid har varit begränsad påverkade säkerheten i resultaten och gjorde det svårt att dra slutsatser som går att generalisera för ett verkligt scenario. Resultaten från de olika försöken var dock väldigt lika och temperaturvariationerna skedde på liknande sätt i samtliga försök. Denna antydning på reproducerbarhet i kombination med den omfattande diskussionen har gjort att följande slutsatser konstaterats:

- Vatten har en förmåga att förhindra brandgasantändning samt fördröja brandförloppets återhämtning. Dock har vatten i små volymer en begränsad förmåga att helt släcka branden om det inte träffar bränslet. I de flesta verkliga scenarier måste den inledande insatsen därför följas av en invändig släckning. Då verkliga utrymmen i de flesta fall består av flera rum begränsas vattnets förmåga att släcka branden ytterligare.
- I resultaten noterades en momentan temperatursänkning vid tillförsel av vatten, dock skedde en snabb återhämtning i samtliga försök. Eftersom temperaturen återhämtade sig till nästan samma nivåer som i dem utan vatten är det troligen vattnets spädande effekt som förhindrar brandgasantändning. Denna slutsats konstateras även i rapporterna som behandlades i litteraturstudien.
- I de försök antändning förhindrades förlängdes tiden från vattentillförsel tills temperaturen åter nådde sitt maximum med ökad volym tillfört vatten. Detta kan bidra till bättre förhållanden under en efterföljande invändig insats.
- Det krävdes runt 6 liter vatten för att förhindra brandgasantändning i de empiriska försöken. Detta motsvarar 260 gram vatten per kubikmeter rumsvolym. Det kan dock inte säkerställas att detta kan skalas om till andra utrymmen.
- Brandgasantändning skedde vid olika temperaturer och det gick inte att påvisa någon lägsta temperatur som krävdes för att brandgasantändning skulle kunna ske.
- Området ventilationskontrollerad brand och backdraft är inte helt utrett och det finns därför utrymme för fortsatt arbete. Den här rapporten har berört en del av problematiken men det finns fortfarande många områden inom ämnet som skulle vara intressanta att studera vidare. Det är också så att de empiriska försöken i denna rapport är förenade med en rad osäkerheter och felkällor vilket gör att resultaten skulle behöva styrkas för att vara applicerbara på verkliga scenarier. Därför presenteras en rad förslag på möjliga inriktningar för fortsatt arbete inom området.

9 Fortsatt arbete

Området ventilationskontrollerad brand och backdraft är inte tillräckligt utrett trots att det är dessa som skapar störst problem för räddningstjänsten. I det här arbetet har möjligheterna att säkerställa giltiga resultat varit begränsade. Området har berörts och en hel del intressanta iakttagelser har gjorts men osäkerheterna i resultaten är fortfarande stora. För att kunna säkerställa att resultaten stämmer överens med verkliga scenarier krävs fortsatt arbete. Det har också dykt upp en hel del intressanta tankar under arbetets gång och här presenteras därför en rad förslag på möjliga inriktningar.

Empiriska försök med plast som bränsle

Det skulle vara intressant att arbeta vidare med bränslets inverkan på risken för backdraft. Flera av de studerade rapporterna nämner att mängden kolväten i brandgaserna är avgörande för om en backdraft skall inträffa eller inte. Om bränslet helt eller delvis utgörs av plast skulle brandgasernas sammansättning se helt annorlunda ut och förmodligen skulle de innehålla mer oförbrända kolväten. Att försöken i det här arbetet huvudsakligen genomförs med trä beror framförallt på tillgänglighet, tidigare erfarenhet av trä som bränsle samt dess begränsade miljöpåverkan. Idag utgörs en stor del av bränslet i verkliga bränder av olika plastmaterial och därför skulle det vara mer representativt att genomföra försök där bränslet helt eller delvis utgörs av plast.

Under de empiriska försöken genomfördes en försöksserie där en del av bränslet utgjordes av plast i form av skummadrasser (polyeter). Men då detta genomfördes i en försöksserie som i övrigt avvek för mycket från de övriga kunde inga slutsatser dras. Då brandförloppet förväntas bli annorlunda om plast används som bränsle vore det intressant att se hur backdraftförloppet påverkas samt hur möjligheterna till släckning förändras.

Välisolerade täta utrymmen

I dagens samhälle finns en strävan efter att bygga välisolerade och täta konstruktioner för att effektivisera energianvändningen. En välisolerad och tät konstruktion borde dock medföra mer komplicerade brandförlopp samt påverka risken för att backdraft skall inträffa. Den container som användes under de empiriska försöken har en viss form av isolering då väggarna var klädda med lättklinkerbetong. Det har visat sig att även om brandgaserna kyls relativt effektivt med vatten bidrog den stora mängden lagrad värme i konstruktionen till att temperaturen snabbt återhämtade sig. I ett verkligt scenario förväntas god isolering framförallt bidra till högre brandgastemperaturer innan vattenpåföring. Resultaten visar på att brandgasantändning oftare skedde i den senare delen av försöksserierna då temperaturen var högre. Försökscontainern var otät med en mängd läckageöppningar och trots detta inträffade ett antal backdraftförlopp. Det gör att det vore intressant att studera vilken inverkan ett välisolerat och tätt utrymme skulle ha på en ventilationskontrollerad brand, risken för backdraft och möjligheterna att släcka med vatten.

Försökuppställning med flera rum

I denna rapport samt i de rapporter som hittades under litteratursökningen har de empiriska försöken utförts i ett utrymme bestående av endast ett rum. I verkligheten finns det få bostäder eller lokaler som består av endast ett rum. Det gick inte att släcka branden helt med studerad metod och vattenvolym. Hade utrymmet dessutom bestått av fler rum skulle det varit ännu svårare. Detta

eftersom vattnet i de flesta fall är tvunget att träffa branden för att släcka den. Kunskapen om vilken inverkan vattentillförsel får på ett angränsande rum är begränsad och därför vore det intressant att studera detta närmare. Hur sker temperaturförändringen i rummen längre in där vattnet inte tillförs? Hur rör sig vattnet efter förångning, kommer utspädning ske i samtliga rum och efter hur lång tid? Kommer risken för brandgasantändning att kvarstå då en öppning skapas till utrymmet och syre strömmar in? Att studera den inströmmande luftens rörelsemönster och förmåga att blanda sig med de brännbara gaserna vore också intressant. Ett arbete där försöksutrymmet utgörs av flera rum skulle kunna besvara en del av dessa frågor och därmed bidra till effektivare samt säkrare insatser för räddningstjänsten.

Koncentrationsmätning

Detta förslag innebär ingen ny inriktning på fortsatt arbete utan betonar istället vikten av att utföra koncentrationsmätningar under empiriska försök som studerar det underventilerade brandförloppet. Resultaten från försöken tyder på att det främst är vattnets spädande effekt som är avgörande för att förhindra antändning. Detta konstateras även av Gottuk et al (1999) samt Weng & Fan (2002) i rapporterna som har behandlats i litteraturstudien. Dessa arbeten utfördes med gasformigt bränsle och koncentrationsmätningar genomfördes. Detta resulterade i att de kunde ange kolvätekoncentrationer under vilka antändning aldrig skedde. Om koncentrationsmätningar skett under försöken i denna rapport hade det kunnat bidra till mer underbyggda och säkrare slutsatser. Det är inte bara volym tillfört vatten för att uppnå inertering som är intressant vid koncentrationsmätningar, utan även koncentrationen brännbara gaser då brandgasantändning sker. Möjligheten att se sammansättningen av de brännbara gaserna samt mäta koncentrationen av dessa skulle leda till att olika bränslens inverkan på förloppet skulle kunna jämföras. Detta vore av stort intresse då typ av bränsle förväntas ha inverkan på resultatet.

10 Källförteckning

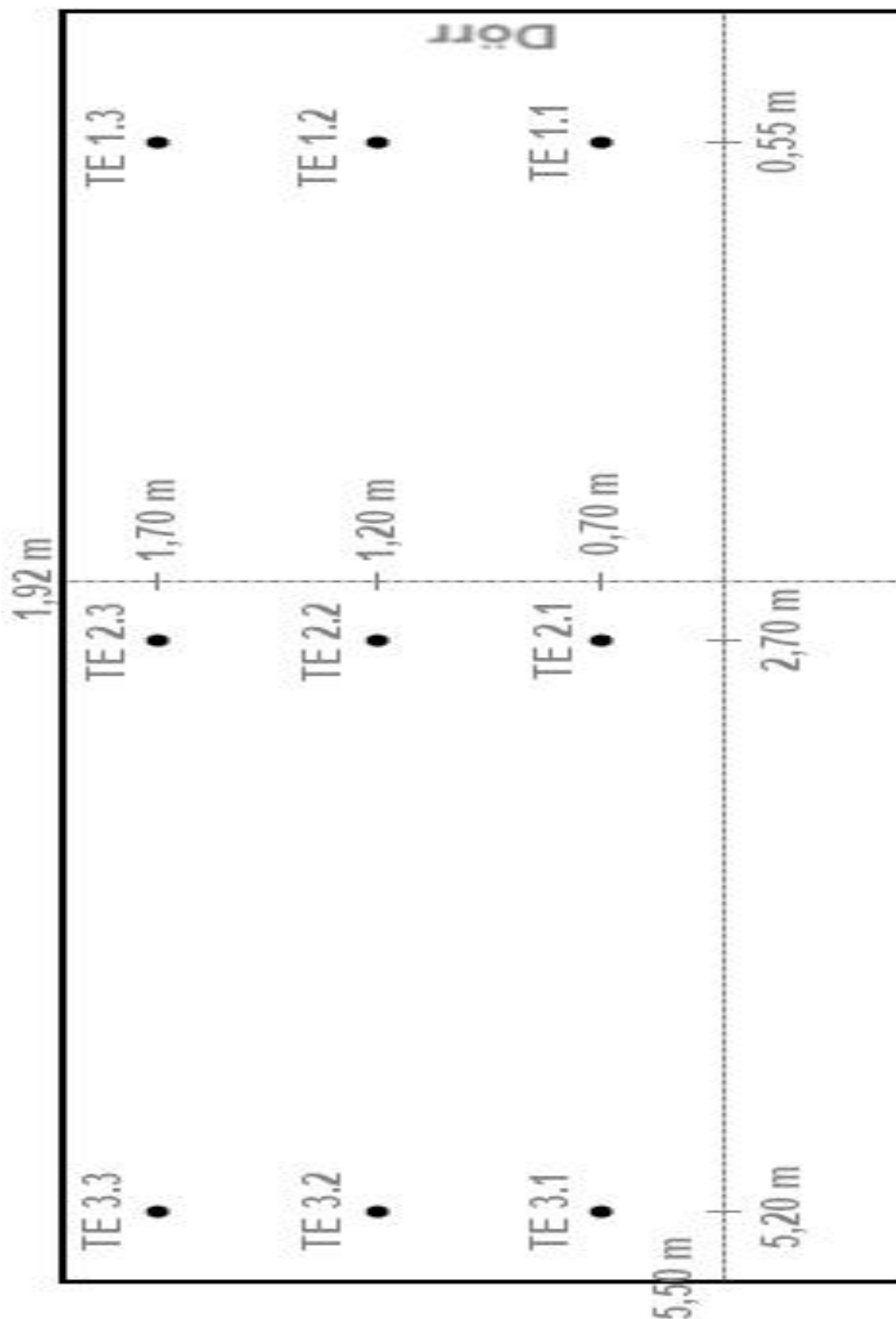
- Backman, J. (2008). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur AB
- Bengtsson, L-G. (2001). *Inomhusbrand*. Karlstad: Räddningsverket
- Bengtsson, L-G. (1999). *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*. Lic.-avh. Lunds Tekniska Högskola. Lund: LTH, Avd. Brandteknik.
- Bengtsson, L-G. & Karlsson, B. (1997). *Fenomenen övertändning, backdraft och brandgasexplosion*. Karlstad: Räddningsverket
- Chitty, R. (1994). *A survey of backdraught*. Report 5/94. London: Home office FRDG
- Drysdale, D. (1998). *An introduction to fire dynamics*. (2. ed.) Chichester: John Wiley & Sons
- Gojkovic, D. (2001). *Initial Backdraft Experiments*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet
- Gottuk, D.T., Peatross, M.J., Farley, J.P., Williams, F.W. (1999). The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study. *Fire Safety Journal* nr 33, ss 261-282
- Guigay, G. (2008). *A CFD and experimental investigation of under-ventilated compartment fires*. Diss. University of Iceland. Reykjavik: Department of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering and Natural Sciences
- ISO/FDIS (2008). *Fire safety – Vocabulary 13943:2008*. Geneva: ISO
- Jimenez, P.C. Franssen, J-M. Karlsson B. (2009). Backdraft Probability Using a Diffusion Flame Limits Criterion. *Journal of FIRE SCIENCES* nr 27, ss 143-156
- Karlsson, B. & Quintiere, J.G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press
- Särdqvist, S. (2006). *Vatten och andra släckmedel*. (2.ed.) Karlstad: Räddningsverket
- Weng, W.G. & Fan, W.C. (2002). Experimental Study on the Mitigation of Backdraft in Compartment Fires with Water Mist. *Journal of fire sciences* vol. 20 – July 2002.

Internetkällor

- Coldcut systems. *Coldcut cobra – skärsläckning* (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.coldcutsystems.se/om-coldcut-cobra>> (2011-09-28).
- Dafo. *Strålbild waterfog dimspikar* (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.dafo.se/sv/dimspikar>> (2011-09-28).
- IKEA. *Vyssa slappna - madrass till spjäsäng* (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.ikea.com/se/sv/catalog/products/10150287/>> (2011-10-03)

Bilaga A. Termoelementens placering i containern

Uppförstorad figur A.1 över termoelementens placering på den högra väggen sett från öppningen.



Figur A.1. Termoelementens placering på den högra väggen i containern sett från insidan. Avstånden är uppmätta från golvet respektive väggen med dörren.

Bilaga B. Resultat för respektive försök

I denna bilaga redovisas de visuella observationer som gjordes under respektive försök. Utifrån filmen från försöken kunde påföringstiden av vatten bestämmas. Denna tid och det kända flödet användes sedan för att uppskatta volymen tillfört vatten. Även tiden från det att luckan öppnades till en eventuell brandgasantändning bestämdes utifrån filmen. Alla dessa resultat redovisas i tabell B.1 till B.6.

Tabell B.1. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 1

Försöksserie 1			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
1.1	-	22	- Mycket svag antändning av brandgaser. - Brinner i pallar vid sikt.
1.2	1,4	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar återantända vid sikt.
1.3	1,5	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar återantända vid sikt.
1.4	1,7	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar återantända vid sikt.
1.5	-	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar återantända vid sikt.

Tabell B.2. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 2

Försöksserie 2			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
2.1	-	-	- Ingen Brandgasantändning. - kraftigt pulserande brandgaser mycket tjocka. - Antändning bedöms mycket nära.
2.2	2,8	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar lite återantända vid sikt.
2.3	2,9	-	- Antänder inte brandgaser. - Stor del av pallar återantända vid sikt.
2.4	2,6	-	- Antänder inte brandgaser. - Pallar återantända vid sikt.
2.5	-	20	- Brandgasantändning. - Kvitto på att förhållanden för en backdraft råder.

Tabell B.3. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 3

Försöksserie 3			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
3.1	-	-	- Brandgasantändning dock sent.
3.2	1,2	-	- Antänder inte brandgaser. - Snabb återantändning.
3.3	1,1	29	- Brandgasantändning ut genom öppningen, backdraft liknande.
3.4	1,1	30	- Brandgasantändning ut genom öppningen.
3.5	-	28	- Brandgasantändning, kraftig ut genom öppning.
3.6	-	20	- Brandgasantändning.

Tabell B.4. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 4

Försöksserie 4			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
4.1	-	-	- Mycket svag Brandgasantändning. - Snabb återantändning av pallarna, vid sikt lågor i taket.
4.2	2,6	-	- Antänder inte brandgaser. - Mycket rök, vid sikt lågor i taket och pallarna antända.
4.3	2,9	30	- Brandgasantändning.
4.4	2,7	24	- Brandgasantändning.
4.5	3,1	28	- Brandgasantändning .
4.6	-	18	- Brandgasantändning, kraftigaste.
4.7	2,9	-	- Ingen Brandgasantändning. - Lite bränsle.

Tabell B.5. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 5

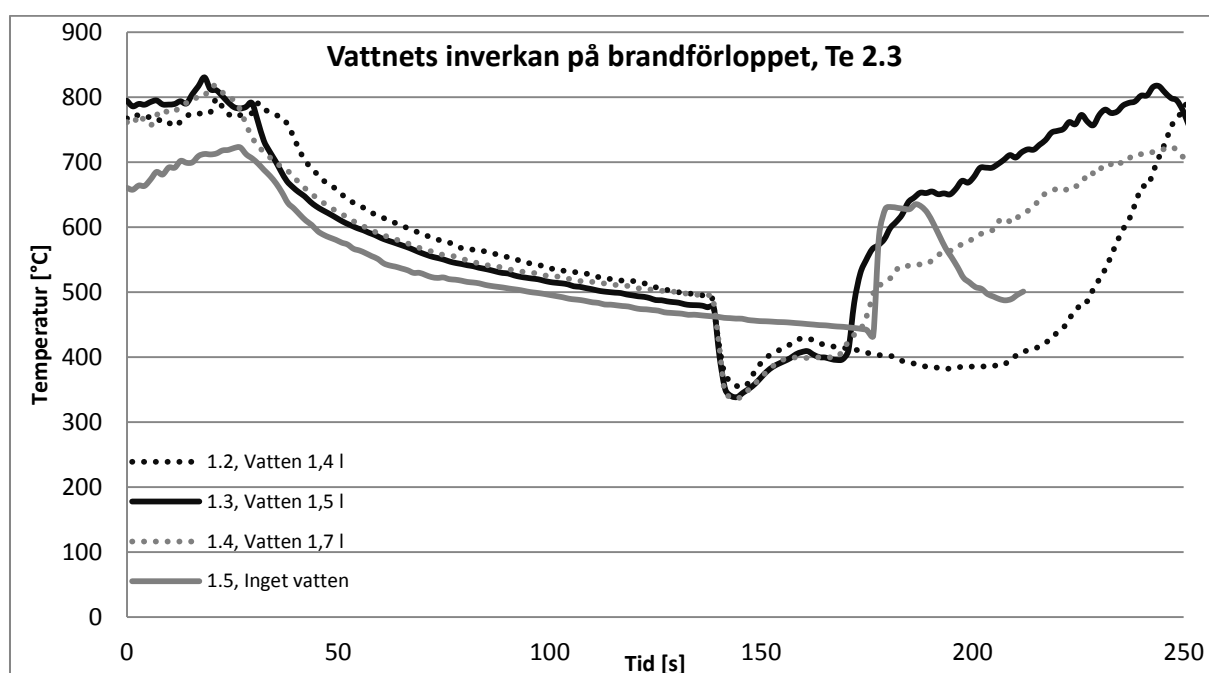
Försöksserie 5			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
5.1	-	-	- Ingen Brandgasantändning. - Mörka/svarta brandgaser, relativt pulserande. - 2 Skummadrasser tillförs som bränsle.
5.2	2,4	-	- Ingen Brandgasantändning. - 2 Skummadrasser tillförs som bränsle.
5.3	2,4	-	- Ingen Brandgasantändning. - 2 Skummadrasser tillförs som bränsle.
5.4	-	27	- Brandgasantändning liten, kraftigaste. - Rester från skummadrasserna finns kvar.
5.5	2,4	27	- Liten Brandgasantändning. - Rester från skummadrasserna finns kvar.

Tabell B.6. Resultat från de visuella observationerna för respektive försök i försöksserie 6

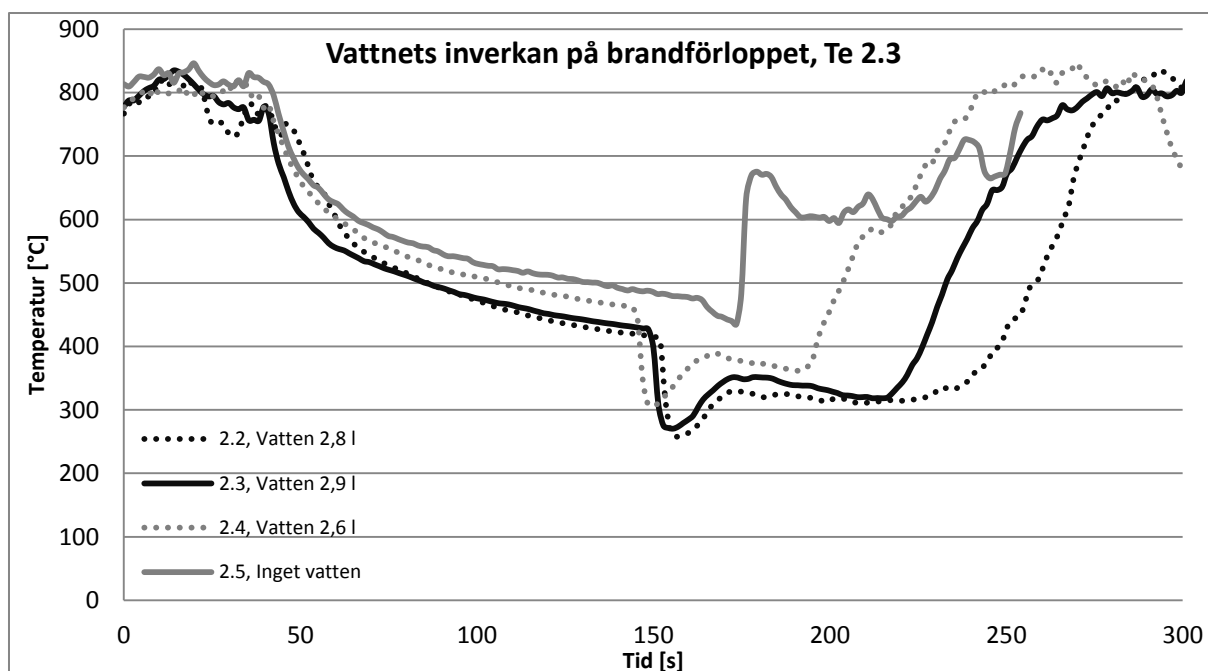
Försöksserie 6			
Försök	Volym [l]	Brandgasantändning [s]	Visuella observationer
6.1	-	-	- Ingen Brandgasantändning. - Mycket pulserande rök, antändning bedöms som nära.
6.2	4,5	-	- Antänder inte brandgaser. - Vid sikt lågor.
6.3	4,4	-	- Ingen Brandgasantändning. - Mycket vit rök och vid sikt lågor i samtliga pallar.
6.4	4,9	-	- Ingen Brandgasantändning. - Mycket vit rök och vid sikt lågor i samtliga pallar.
6.5	-	26	- Brandgasantändning ut genom öppningen.
6.6	-	22	- Brandgasantändning.
6.7	1,1	16	- Brandgasantändning. - Lite bränsle.

Bilaga C. Temperaturvariation vid vattentillförsel

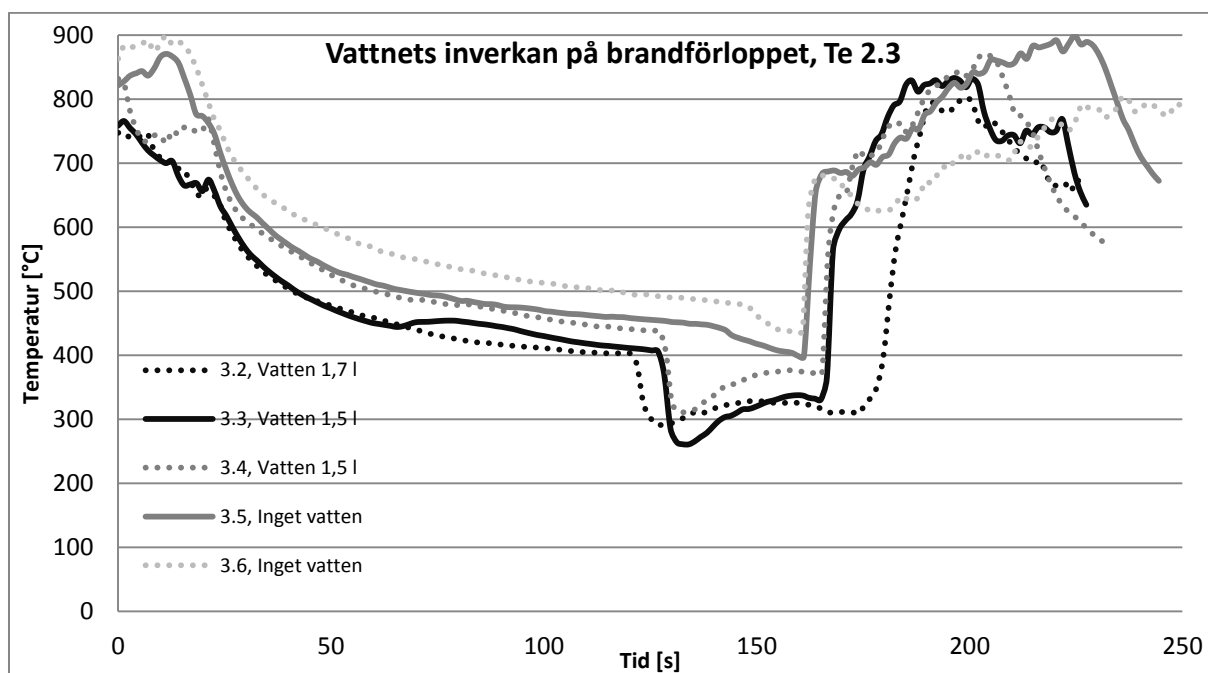
När vatten tillfördes rummet skedde en momentan temperatursänkning och beroende på hur stor volym som tillfördes, varierade tiden det tog för temperaturen att återhämta sig. I denna bilaga redovisas grafer över temperaturvariationen i respektive försök. Graferna är framtagna för termoelement 2.3 vilket betyder att det var placerat högst upp centralt i rummet se bilaga A. I denna bilaga konstateras även att resultatet från termoelement 2.3 är representativt för hela rummet. I figur C.1 till C.6 åskådliggörs temperaturvariationerna för samtliga försök i respektive försöksserie. I figurerna visas inte försök 1 i serien då ingångstemperaturerna i dessa försök var lägre och resultaten därför svåra att jämföra med övriga. Det var istället bättre att jämföra med ett senare försök utan vatten då förhållandena var mer lika.



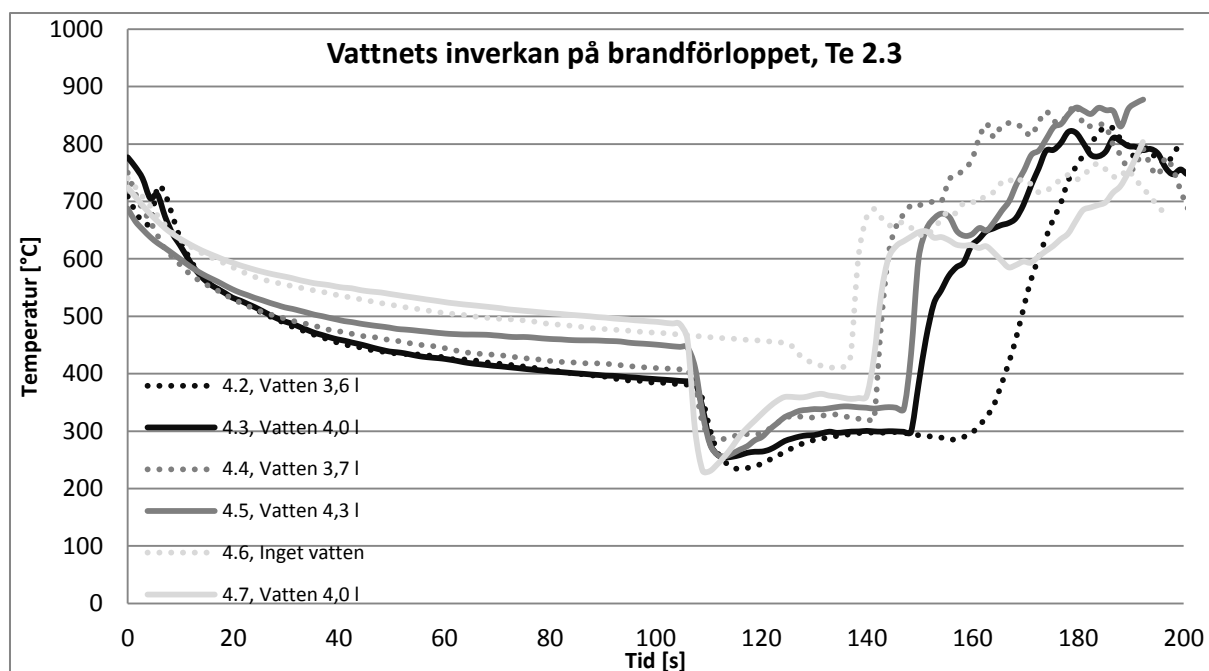
Figur C.1. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 1.



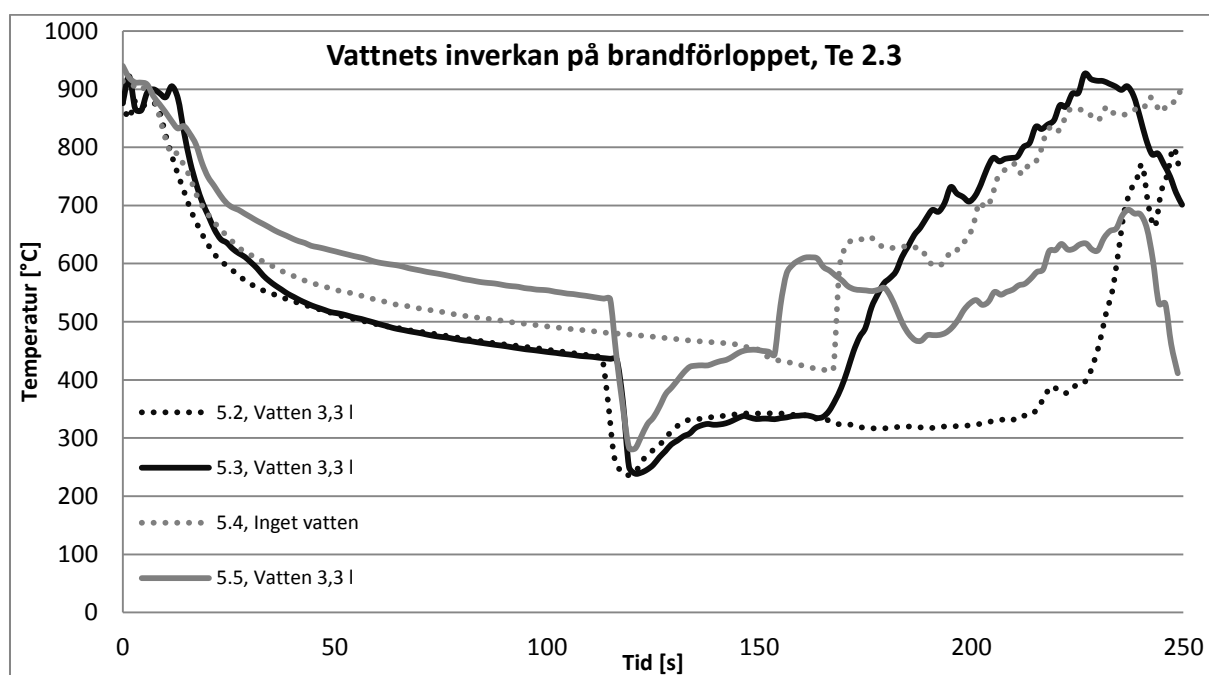
Figur C.2. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 2.



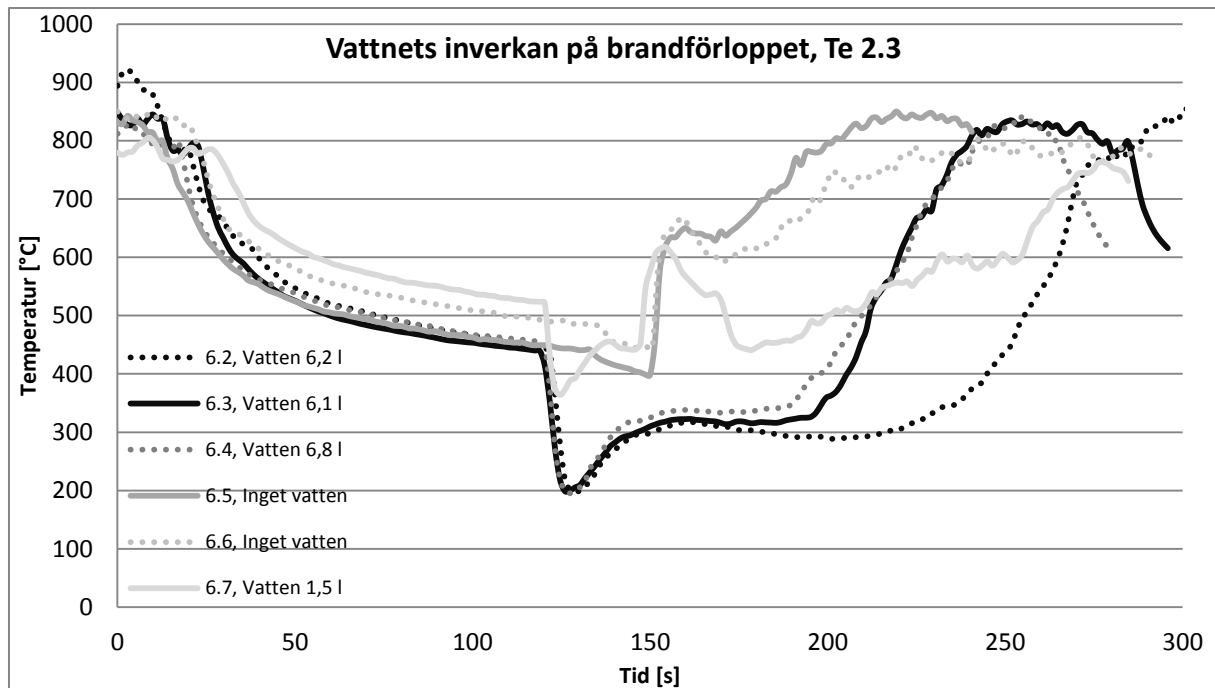
Figur C.3. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 3.



Figur C.4. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 4.

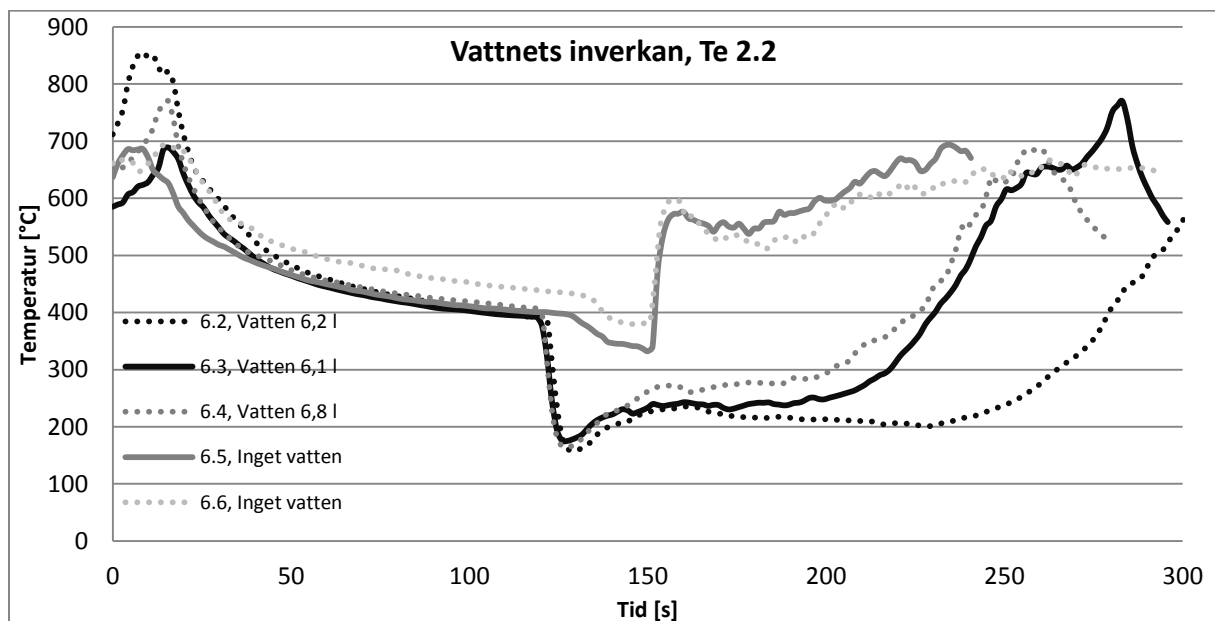


Figur C.5. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 5.

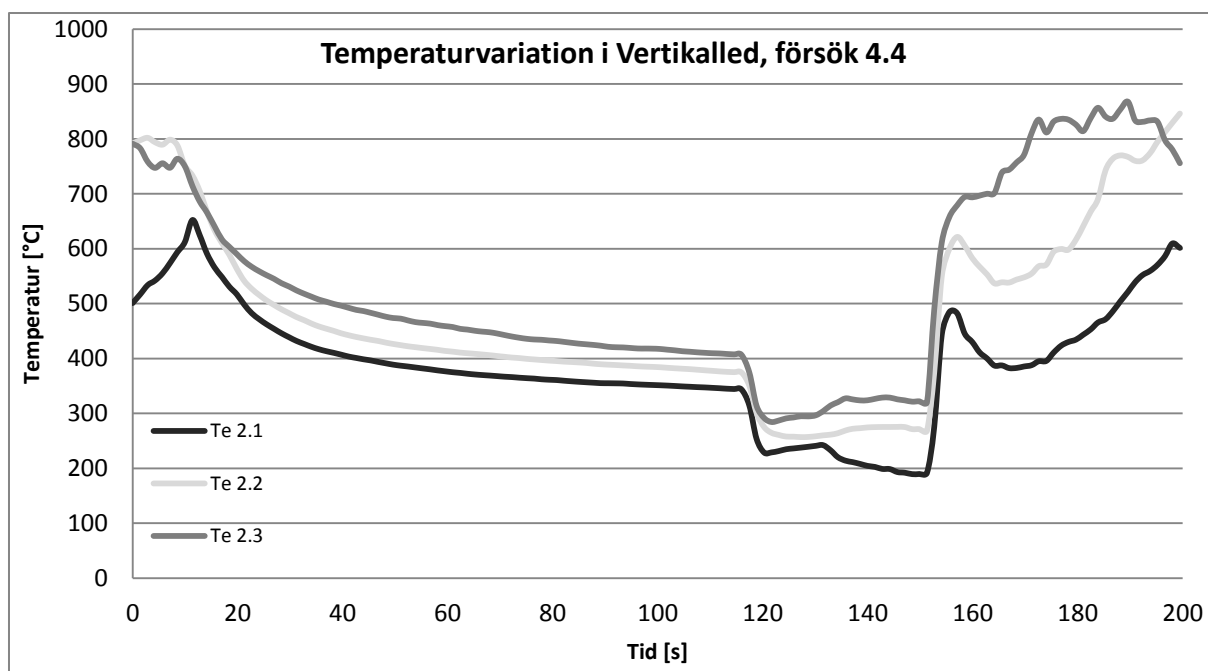


Figur C.6. Temperaturvariationen som termoelement 2.3 registrerade under respektive försök i försöksserie 6.

I figur C.7 åskådliggörs temperaturvariationen i försöksserie 6 med termoelement 2.2 som mät punkt. Detta för att kontrollera att liknande resultat erhöles oavsett vilken höjd termoelementet var placerat på. I figuren kan det tydligt ses att temperaturvariationen skedde på liknande sätt som för termoelement 2.3 vars kurva kan ses i figur C.6. I figur C.8 presenteras en graf som visar temperaturvariationen under ett försök för termoelement 2.1, 2.2 och 2.3 som var placerade centralt i rummet. Även här syns det tydligt att temperaturvariationen var lika oberoende av mätpunktens höjd.

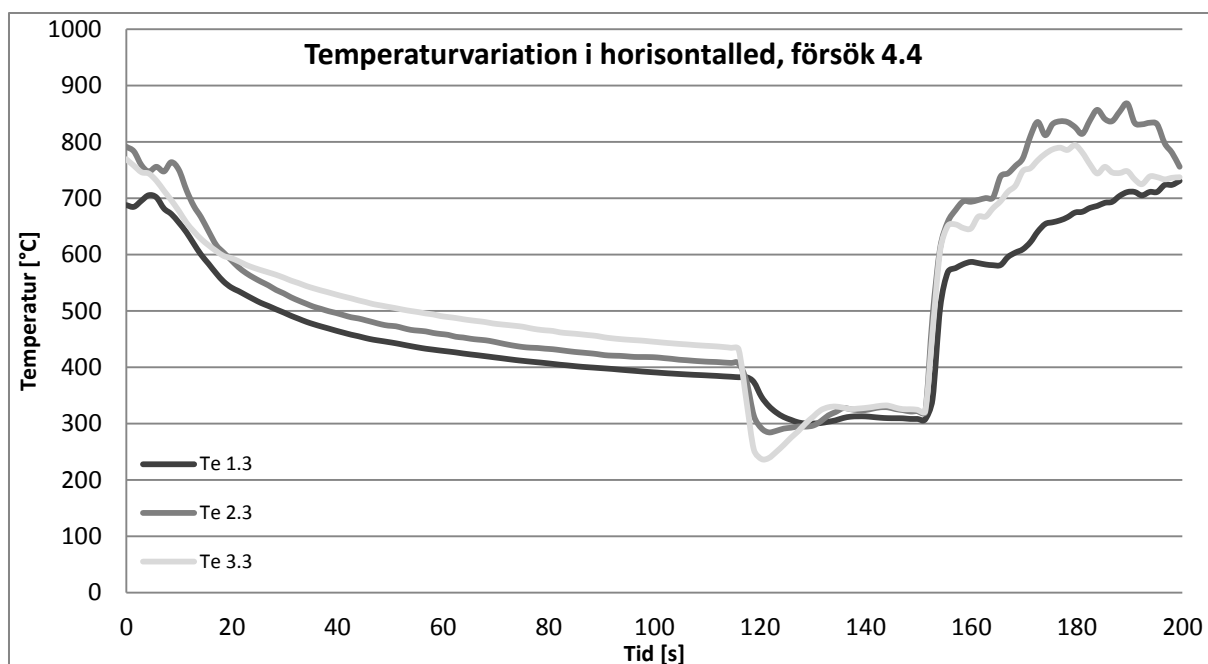


Figur C.7. Temperaturvariationen som termoelement 2.2 registrerade under respektive försök i försöksserie 6.



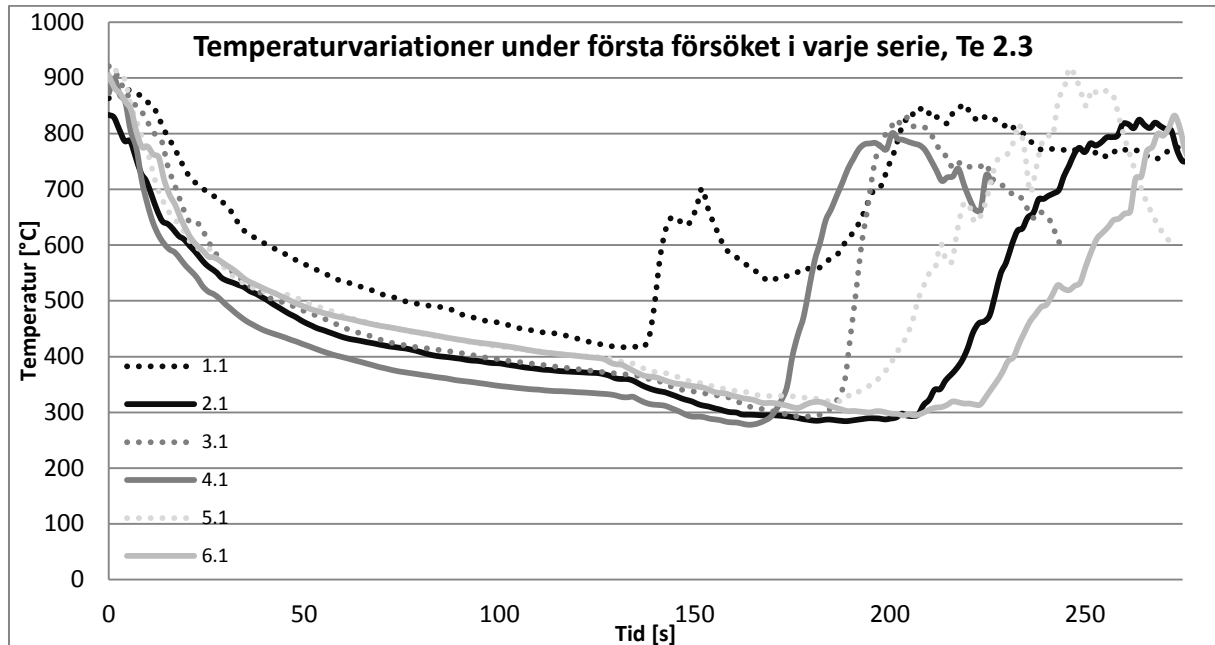
Figur C.8. Temperaturvariationen registrerad av termoelementen placerade centralt i rummet. Graferna visar att temperaturvariationen var liknande oavsett vilken höjd termoelementet var placerat.

För att kontrollera att resultaten var liknande även då termoelementens placering i horisontalled varierade togs en graf fram över temperaturvariationen för de tre övre termoelementen under försök 4.4. Denna graf visas i figur C.9 och här syns tydligt att temperaturen varierade på liknande sätt oavsett var i rummets horisontalled termoelementet var placerat. Dock noterades varierande storlek på temperaturvariationerna beroende på termoelementets placering i rummet. De största variationerna uppstod långt in i rummet nära branden. Detta fick dock ingen större betydelse för resultaten gällande vattnets effektivitet.



Figur C.9. Temperaturvariationen registrerad av de tre högst placerade termoelementen på olika platser i horisontalled.

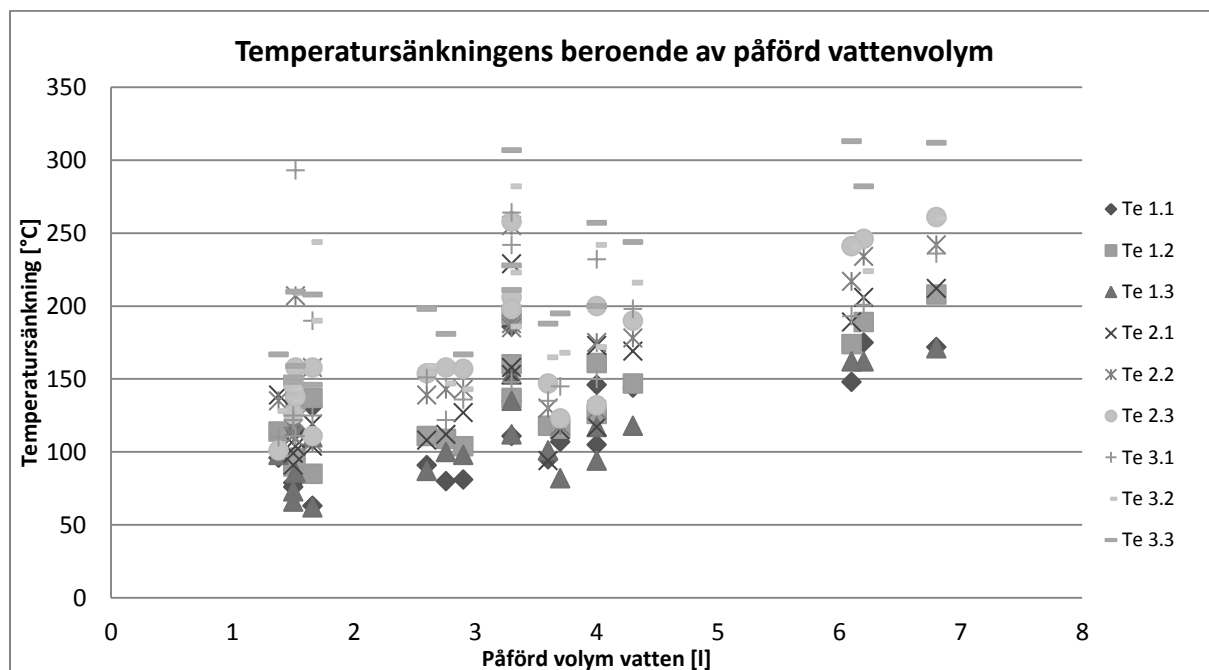
Figur C.10 visar temperaturkurvorna från försök 1 i samtliga försöksserier. Utifrån graferna kan det konstateras att samtliga försök hade liknande beteende efter att dörren stängts till dess att öppning skedde. Efter öppning däremot så var återhämtningskurvorna varierande och exempelvis så skedde en antändning i försök 1.1. Det uppnåddes liknande temperaturer men efter olika lång tid. Temperaturvariationen som uppstod efter öppning kan exempelvis bero på att olika sorters lastpallar användes som bränsle, att omgivningsförhållanden som väder och vind var olika, med mera.



Figur C.10. Temperaturvariationen för första försöket i respektive försöksserie. Grafen visar att jämförbara temperaturvariationer skedde inför försöken då vatten tillfördes.

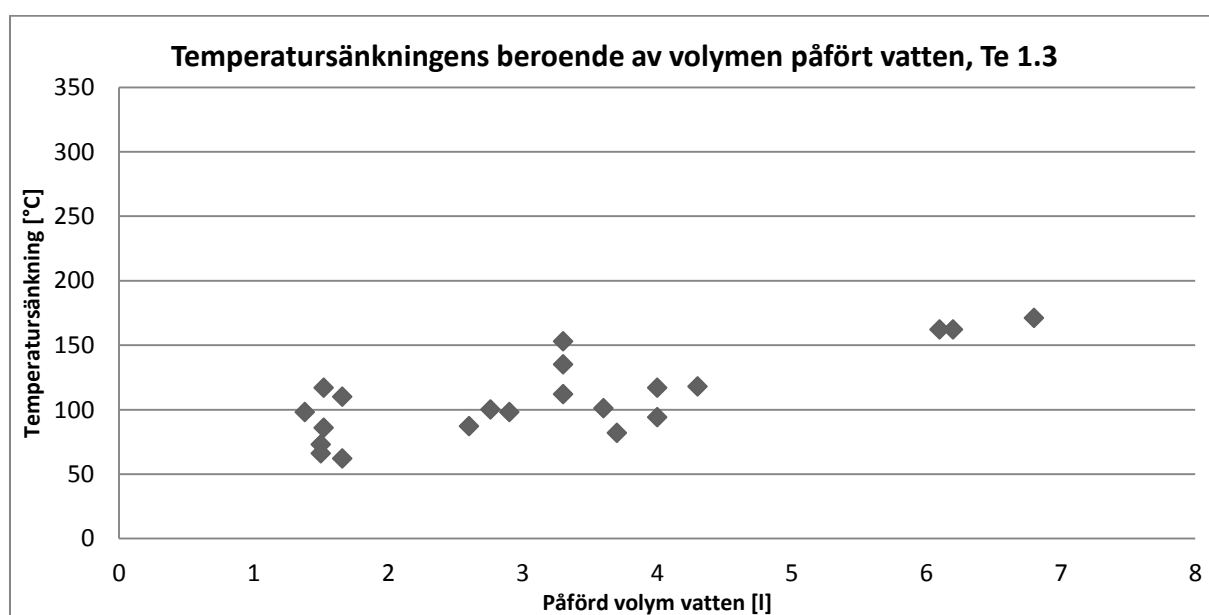
Bilaga D. Temperatursänkning vid vattentillförsel

Här presenteras kompletterande grafer som visar temperatursänkningen till följd av vattenpåförsel. Först presenteras i figur D.1 hur temperatursänkningen ökar vid en ökande volym tillfört vatten. I figuren presenteras samtliga uppmätta värden istället för att som tidigare i rapporten använda medelvärden. Resultaten presenteras för respektive termoelement och vattenvolym.

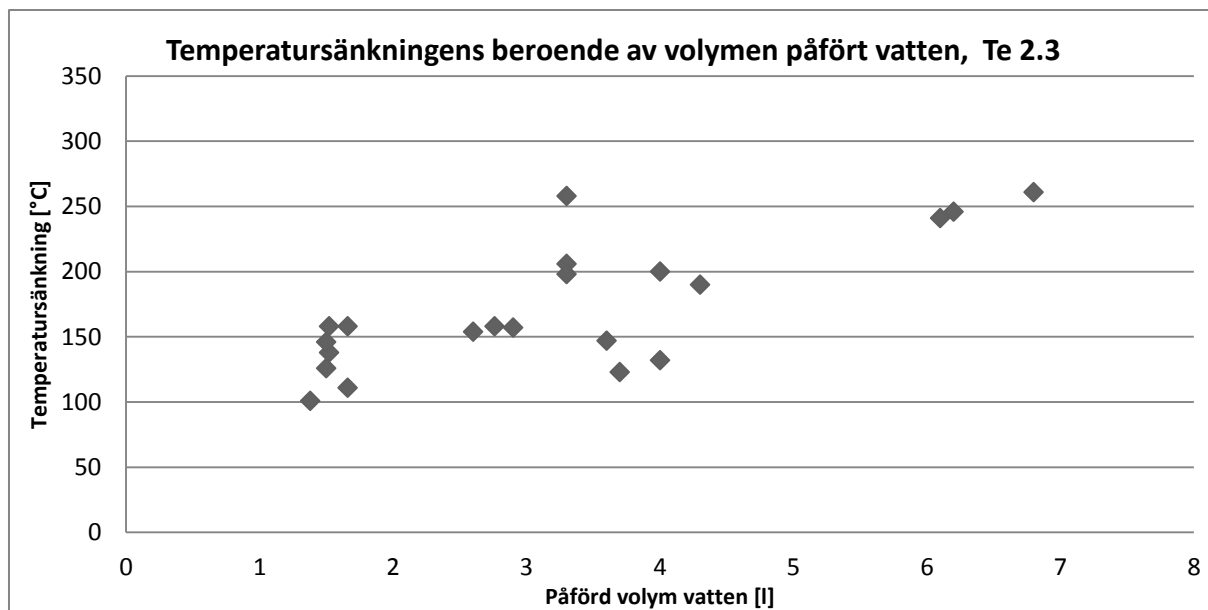


Figur D.1. Temperatursänkningens beroende av volymen tillfört vatten för samtliga försök och mätpunkter.

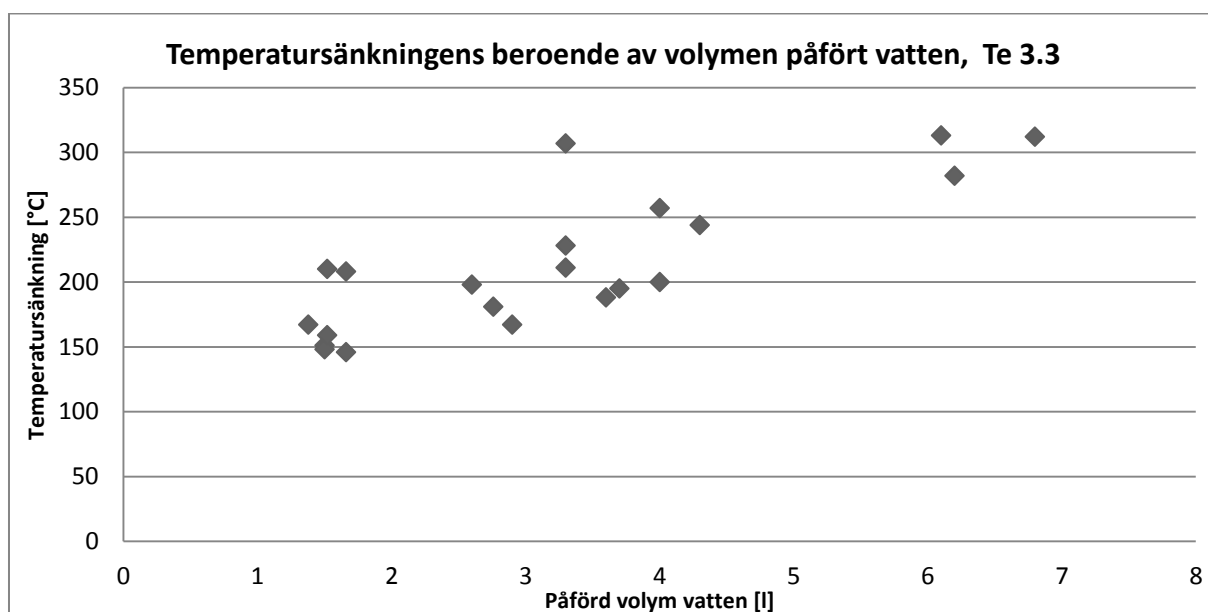
För att tydligare kunna urskilja vad som skedde presenteras i figur D.2 till D.4 hur temperatursänkningen förändras vid en specifik mätpunkt då vattenvolymen ökar. Här har de tre översta mätpunkterna valts ut för att se hur sänkningen förändras i horisontalled.



Figur D.2. Temperatursänkningens beroende av volym tillfört vatten för samtliga försök vid mätpunkten 1.3.



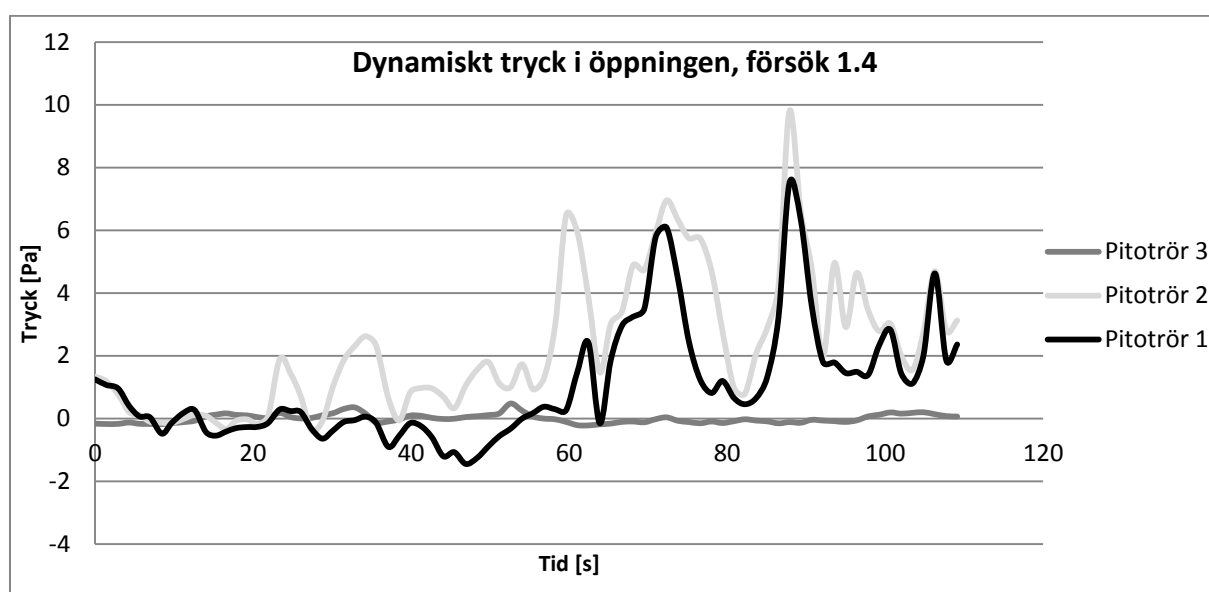
Figur D.3. Temperatursänkningens beroende av volym tillfört vatten för samtliga försök vid mätpunkten 2.3.



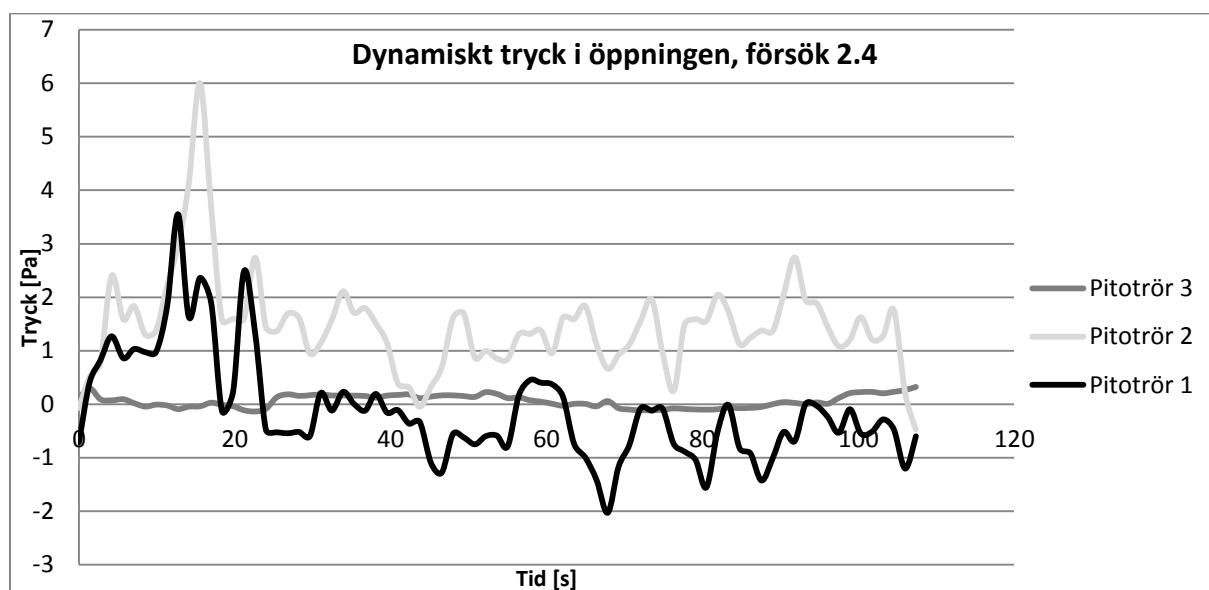
Figur D.4. Temperatursänkningens beroende av volym tillfört vatten för samtliga försök vid mätpunkten 3.3.

Bilaga E. In och utflöde i öppningen

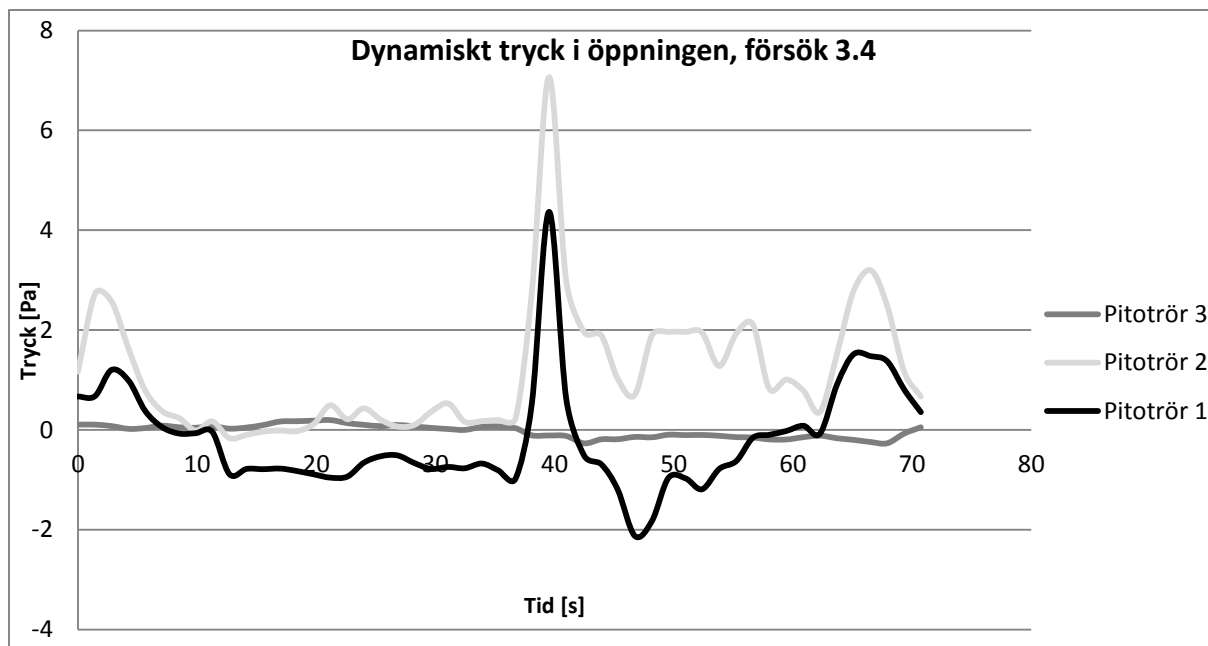
Den här bilagan redovisar resultat från de pitotrör som var placerade i öppningen till brandrummet. Resultaten blev inte riktigt som förväntat på grund av två saker. Dels hade vinden en väldigt stor inverkan på resultaten och dels fungerade inte det översta pitotröret. På grund av detta behandlades inte resultaten från pitotrören vidare men i figur E.1 till E.6 presenteras ett utdrag från resultaten. Samtliga grafer redovisar erhållna mätvärden från försök 4 i respektive försöksserie, det vill säga försök 1.4 till 6.4. Tidsintervallet i graferna motsvarar tiden som varade från öppning av luckan tills att den åter stängs. I figur E.1, E.3, E.4 och E.6 går det att urskilja hur brandgaserna strömmar ut i hela luckan en bit in i förloppet. I de fall brandgasantändning inträffade, figur E.3 och E.4, går detta också att urskilja.



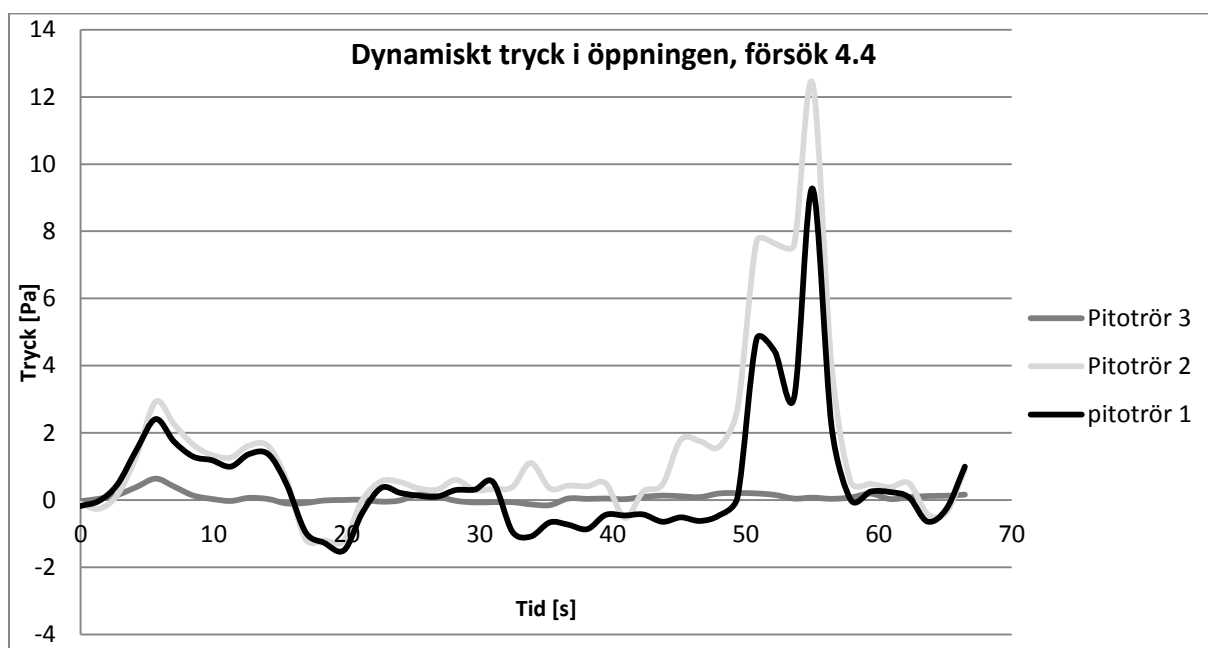
Figur E.1. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrören under försök 1.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner.



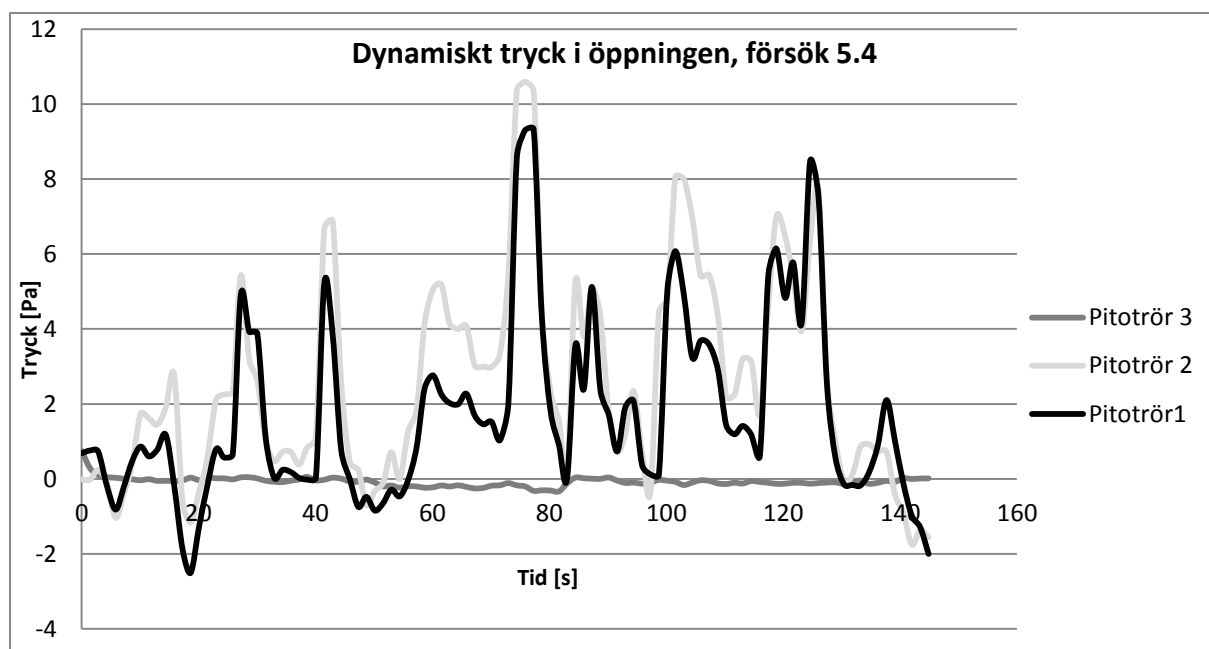
Figur E.2. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrören under försök 2.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner.



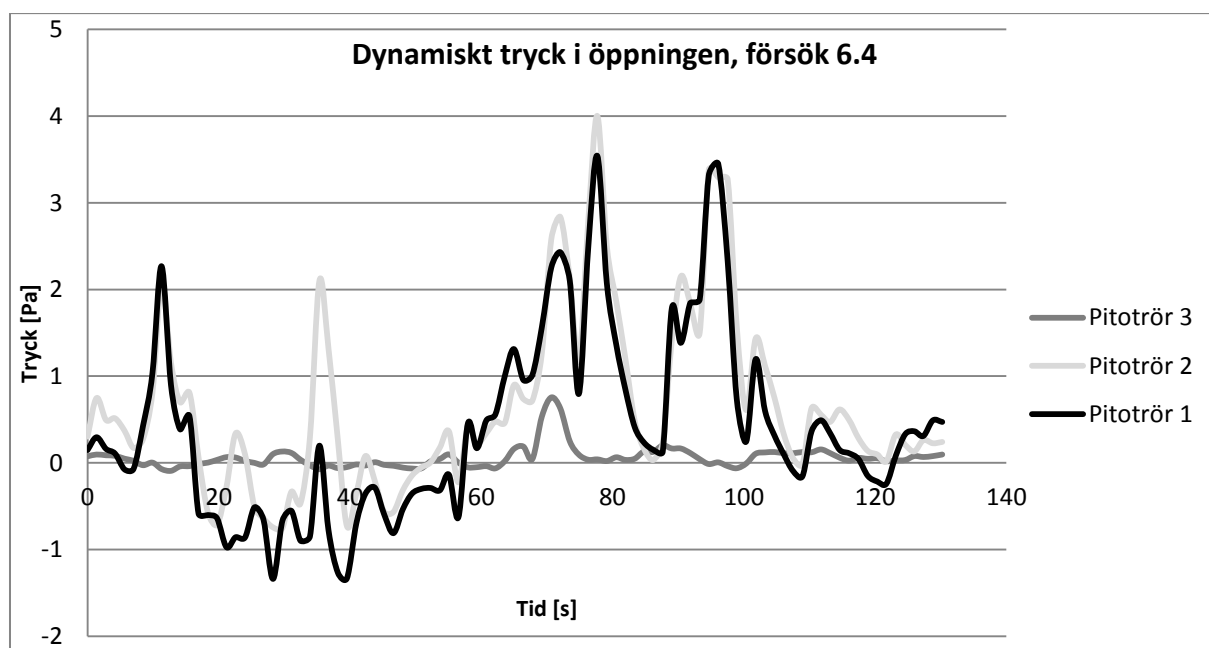
Figur E.3. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrören under försök 3.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner. Efter cirka 40 sekunder registreras en topp på grund av brandgasantändning.



Figur E.4. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrören under försök 4.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner. Efter drygt 50 sekunder registreras en topp på grund av brandgasantändning.



Figur E.5. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrörerna under försök 5.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner.



Figur E.6. Det dynamiska trycket som uppstod i öppningen uppmätt med de tre pitotrörerna under försök 6.4. Pitotrör 3 var placerat högst upp i öppningen och 1 längst ner.



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola