



LUND UNIVERSITY

Manuell brandsläckning med vatten

Särdqvist, Stefan

1999

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Särdqvist, S. (1999). *Manuell brandsläckning med vatten*. (LUTVDG/TVBB--3106--SE; Vol. 3106). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Manuell brandsläckning med vatten

Stefan Särqvist

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3106, Lund 1999

**Manuell brandsläckning
med vatten**

Stefan Särdaqvist

Lund 1999

Manuell brandsläckning med vatten

Stefan Särdaqvist

Report 3106

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--3106--SE

Number of pages: 39

Illustrations: Stefan Särdaqvist

Keywords

Manual fire suppression, fire-fighting, fire tests, water

Nyckelord

Manuell brandsläckning, släckförsök, vatten

Abstract

To investigate how the relation between the control time and the total amount of water varies with the water application rate at manual fire fighting operations, six different experimental fire test series were studied. In spite of being quite different, the experiments prove to give similar results. Plotting the total volume of water required against the application rate, gives a diagram in the shape of a fish hook. The lowest total volume gives an optimum application rate of about 0.01 l/m²s. The fire brigade equipment is over-sized for the studied scenarios. To investigate the limitations of the equipment, there is a need for fire tests in a larger scale

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Summary

To investigate how the relation between the control time and the total amount of water varies with the water application rate at manual fire fighting operations, six different experimental fire test series were studied. The application rate is defined here as the total volume of water applied divided by the fuel surface area and by the control time. The scenarios were a free burning wood crib, an ISO room, a 20 foot container, a fire test room, a double 40 foot container and a large fire hall.

There is a minimum water application rate of about $0.002 \text{ l/m}^2\text{s}$ to enable fire control at the scenarios in the study. With a lower application rate, the water merely serves to prolong the time for the fire to burn out.

Plotting the total volume of water required against the application rate, gives a diagram in the shape of a fish hook. The minimum on the curve corresponds to an application rate of $0.2 - 0.8 \text{ l/m}^2$, giving an optimum use of resources.

The lowest total volume gives an optimum application rate of about $0.01 \text{ l/m}^2\text{s}$. Decreasing the flow, prolongs the control time, thus giving a higher total volume. A higher flow will give a shorter control time, but not short enough to even out the increase in total volume.

The optimum application rate corresponds to an optimum control time of about $1 - 3 \text{ s/m}^2$. A control time of only a couple of minutes give the best use of resources for fires of the size in this study.

One of the test series was compared with Fire Demand Model, which proved to give some correct tendencies, but the model was not able to predict e.g. the control time with a satisfying degree of certainty.

The distance from the nozzle to the fire, the cone angle and the distribution of the droplet size govern the water application. When increasing the distance to the fire, the cone angle has to be reduced to reach the fire. That results in an increased mean application rate. The implication of this is, that the smaller the cone angle is, the less effective is the water application. This is worth a closer study, especially at fires of a larger scale.

In spite of being quite different, the experiments prove to give similar results. The thing in common is mainly the type of fuel, wood as cribs or boards. However the size of the experimental set-up is in the same magnitude. This size is quite small though in comparison to the normal equipment used by the fire brigades. The fire brigade equipment is over-sized for the studied scenarios. To investigate the limitations of the equipment, there is a need for fire tests in a larger scale.

Sammanfattning

För att undersöka hur kontrolltiden och den totala vattenförbrukningen varierar med vattenpåföringen vid manuell brandsläckning har olika försöksserier studerats. Vattenpåföringen definieras här som den totala vattenvolymen delad med kontrolltiden och bränsleytans storlek. Sex olika scenarier jämfördes: fribrinnande träribbstaplar och brand i ISO-rum, 20-fots container, brandövningshus, dubbla 40-fots containrar samt i en större lokal.

Det finns en minsta genomsnittlig vattenpåföring för att släckning skall kunna ske. För de studerade scenarierna är detta flöde i storleksordningen $0.002 \text{ l/m}^2\text{s}$. Är vattenflödet mindre än så, förlängs bara tiden för branden att brinna ut.

Ett diagram över den totala vattenförbrukningen som funktion av vattenflödet får ett utseende som en fiskkrok. Det finns alltså en lägsta punkt som anger den minsta totalvolymen, och därmed det bästa resursutnyttjandet. För de aktuella scenarierna ligger minimipunkten på ca $0.2 - 0.8 \text{ l/m}^2$.

Den lägsta punkten på kurvan motsvaras av en medelpåföring, i storleksordningen $0.01 \text{ l/m}^2\text{s}$ som alltså är den optimala. Med en mindre påföring kommer det att ta så lång tid att släcka branden att totalvolymen ökar, Med en större påföring går visserligen släckinsatsen snabbare, men inte tillräckligt för att väga upp ökningen i totalvolym.

Det optimala släckvattenflödet motsvaras av en optimal släcktid som är relativt kort, vid de studerade experimenten $1 - 3 \text{ s/m}^2$. Det bästa resursutnyttjandet ges alltså om branden slås ned snabbt, för bränder av experimentens storlek på högst någon minut.

En av experimentserierna jämfördes med beräkningar utförda med Fire Demand Model, och det visade sig att modellen kan ge rätt tendenser, men beräknar inte exempelvis kontrolltiden med tillräcklig precision.

Det visar sig också att avståndet mellan strålröret och branden är en avgörande parameter, då det tillsammans med konvinkeln och droppstorleken styr vattenpåföringen. Med ökande avstånd till branden måste konvinkeln minskas för att strålen skall nå fram. Samtidigt ökar påföringen per ytenhet, vilket innebär att ju mer strålen sluts, desto mindre effektivt utnyttjas vattnets släckkapacitet. Detta är värt vidare studier i större skala.

De studerade experimenten visar sig ge resultat som stämmer överens sinsemellan, detta trots att brandscenarierna är olika. Det experimenten har gemensamt är framför allt att bränslet är lika i samtliga försök, trämaterial antingen som träribbstaplar eller som ytskikt.

Vad som däremot kan konstateras är att experimenten är i samma storleksordning och relativt små jämfört med kapaciteten hos räddningstjänstens normala utrustning. Om räddningstjänstens utrustning används, är den alltså överdimensionerad för försöksscenarierna. För att undersöka begränsningarna hos räddningstjänstens utrustning krävs försök i större skala, där inte släckutrustningen med självklarhet är överlägsen branden. Tyvärr finns idag inga sådana vetenskapliga experiment där brandens storlek står i rimlig proportion till räddningstjänstens kapacitet och därför har en försöksserie i större skala initierats.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Erkännande	7
1.2	Syfte	7
1.3	Ytkylning eller gasfasverkan.....	7
1.4	Definition av släckparametrar.....	8
2	Brandförsök.....	11
2.1	Fribrinnande träribbstapel.....	11
2.2	ISO-rum	14
2.3	20-fots container	17
2.4	Brandövningshus.....	20
2.5	Två 40-fots containrar.....	24
2.6	Stor lokal.....	29
3	Diskussion.....	33
3.1	Optimering av släckmedelsflöde.....	33
3.2	Optimering av kontrolltid	34
3.3	Avståndsberoende	35
3.4	Förslag till fortsatta insatser.....	37
4	Referenser	39

1 Inledning

1.1 Erkännande

Denna rapport ingår som en del i avrapporteringen av projektet *En modell för räddningstaktik, del 2, räddningstjänstens släckkapacitet*. Det har finansierats av Styrelsen för Svensk brandforskning, BRANDFORSK, och har projektnummer 503-981.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att utröna vilken kapacitet räddningstjänsten har att släcka bränder med vatten och hur kapaciteten utnyttjas, med utgångspunkt från tillgängliga brandförsök. Det finns inga större mängder av lämpliga experiment. Släckscenariet måste någorlunda likna det vid manuell brandsläckning. Därför är exempelvis försök med sprinkler inte lämpliga i sammanhanget. Med sprinklersystem kommer vattnet uppifrån snarare än från sidan och problemet med att fördela vattnet över branden har redan lösts. Släckförsöken måste dessutom vara väl dokumenterade. I detta ingår exempelvis beskrivning av brandrummet och branden. Beskrivning av släck sätt samt mätningar av vattenförbrukning och tid tills släckkriteriet uppnås är också nödvändig.

Hypotesen är att det går att beskriva vattenbehovet vid brandsläckning i relation till brandens storlek, här uttryckt som bränsleytans storlek. Den totala mängden vatten som krävs för kontroll jämförs med påföringsmängden per tidsenhet. Även tiden det tar att kontrollera branden jämförs med påföringsmängden. Distributionssättet är också av betydelse och kan uttryckas till exempel med hjälp av dropparnas storleksfördelning, kastlängd och påföringssätt.

Arbetet begränsas till att endast omfatta bränder i trämaterial och manuell släckinsats med vatten.

1.3 Ytkylning eller gasfasverkan

Den kanske viktigaste aspekten av manuell brandsläckning är frågan om vilken släckmekanism som är dimensionerande, ytkylning eller gasfasverkan.

Ytkylning innebär att pyrolyshastigheten minskas så mycket att flammorna utarmas och slocknar. Som ett exempel ligger denna pyrolyshastighet för PMMA (polymetylmetakrylat) vid experimentella studier på omkring $5 \text{ g/m}^2\text{s}$ [Delichatsios, 1997]. Det innebär alltså att 5 gram bränsle lämnar bränsleytan per sekund och med en förbränningsvärme om ca 20 kJ/g blir effektutvecklingen i storleksordningen 100 kW/m^2 . Ytkylningseffekten grundar sig på en energibalans vid ytan, d.v.s. på samspelet mellan å ena sidan den infallande värmen från flammorna och från de varma brandgaserna och å andra sidan värme som leds in i materialet eller som förångar släckvattnet. Vid släckning tar dessa faktorer ut varandra, så att den energi som blir kvar inte förmår pyrolysera tillräckligt med bränsle för att branden skall fortgå.

Den andra släckmekanismen är gasfasverkan, som alltså är principiellt skild från ytkylningseffekten. Här handlar det om släckning av en (diffusions)flamma genom att

tillföra ett släckmedel i så stor mängd att flammen kyls så mycket att den slocknar. För detta finns två koncept. Dels kan vattnet göras extremt finfördelat för att sedan förångas i flammorna och dels kan heta ytor i brandrummet utnyttjas för att förånga vattnet och sedan räkna med vattnet som ett rent inerteringsmedel. En vattentäthet i en flamma av i storleksordningen 140-190 g/m³ krävs [Andersson 1999] för att vattendimma skall fungera för släckning av en diffusionsflamma. Då är dropparna så små och så många att avståndet blir så litet att en flamma inte förmår ta sig emellan dem. Beträffande redan förångat vatten handlar det om inertering och då gäller normala gränser, ca 40 vol% behövs för inertering av en flamma med vattenånga. Denna andel motsvara ungefär dubbla mängden jämfört med släckning av en diffusionsflamma med ej förångade vattendroppar.

Med mycket små droppar blir strålrörets kastlängd kort, vilket innebär svårigheter att nå brandhärden för släckning, speciellt i större lokaler. Är däremot problemet att strålningsvärmens är för stark kan en tät vattendimma vara ett effektivt sätt att skärma av strålningen på.

1.4 Definition av släckparametrar

Släckförsök kräver ett väl definierat kriterium för när släckningen uppnåtts och det finns flera olika att välja mellan. Temperaturen i brandrummet, effektutvecklingen, massavbrinningshastigheten och strålningen är några exempel på storheter som kan användas. Kriteriet blir då när mätningarna antingen nått ett visst värde, till exempel en strålningsintensitet från brandgaslagret om kanske 2.5 kW (vilket motsvarar en temperatur om 230 °C i brandgaserna), eller en viss andel, exempelvis 10 % av den maximala effektutvecklingen. Det kriterium som används här, är den tidpunkt då medeltemperaturen i brandrummet sjunkit till 200 °C och i fallet med fribrinnande träribbstaplar, att massavbrinningshastigheten blir noll.

Olika definitioner kan ge olika resultat vid jämförelse mellan beräkningar och experimentella data. Släckning av en brand kan till exempel ges olika definition. Släcktiden delas ibland upp i kontrolltid och släcktid. Den förstnämnda anger tiden tills branden är under kontroll och då det kan konstateras att släckresurserna är tillräckliga, även om branden inte nödvändigtvis är släckt. Den sistnämnda anger tiden tills branden är helt släckt och det inte behöver påföras ytterligare släckmedel. I denna rapport kommer kontrolltiden att användas. Kontrolltiden ges från påförelsen startar till dess att släckkriteriet nåtts och här har använts samma definition oavsett om flödet av släckvatten är kontinuerligt eller pulserande.

Totalvolymen, alltså den totalt använda mängden vatten har räknats som det vatten som använts under kontrolltiden.

Definitionen av vattenflödet är inte helt självklar, i synnerhet vid pulserande flöden. Skall flödet räknas under den tiden som strålröret är öppet, eller som ett genomsnitt, alltså den totalt använda mängden vatten delat med kontrolltiden? Här har den senare definitionen, medelpåföringen, valts. Ett strålrör med det nominella flödet 5 l/s i öppet läge, ger då ett genomsnittligt flöde om 2.5 l/s om brandmannen gör pulser om 4 s med 4 s paus emellan. Vid kontinuerliga flöden ger de båda metoderna samma värde.

I denna rapport har framförallt tre parametrar jämförts: kontrolltiden, totalvolymen och medelpåföringen. Dessa har vid jämförelserna normerats mot den exponerade

bränsleytan. Det hade varit intressant att göra normeringen mot brandens effektutveckling men den har tyvärr inte mätts vid merparten av studerade brandförsök. Detta gäller i synnerhet vid försöksserier i större skala, som ju är mest intressant för att kunna bestämma kapaciteten vid räddningstjänstens släckinsatser.

2 Brandförsök

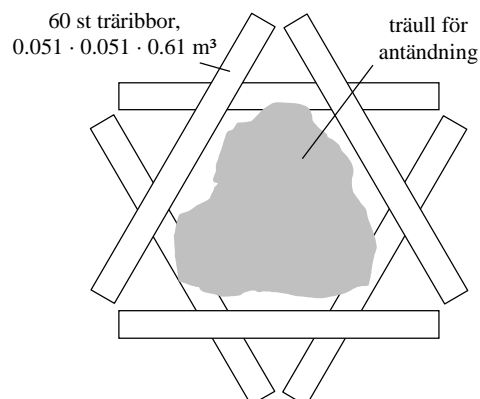
2.1 Fribrinnande träribbstapel

Referens

Försöken utfördes J. Bryan och D.N. Smith under fyrtioalet och finns redovisade i *Engineering*, nr 8, juni 1945, i artikeln *The effect of chemicals in water solution on fire extinction*, sid 457-460, 497-500

Branden

Släckscenariet simulerade släckning av en fritt brinnande träribbstapel med pyttsspruta. Träribbstapeln var arrangerad som en sexuddig stjärna som i Figur 1 och bestod av 60 st träribbor med dimensionen $0.051 \cdot 0.051 \text{ m}^2$ och längden 0.61 m (alltså 2, 2 resp. 24 inch). En beräkning av bränslets yta ges av Tabell 1. Materialet var Pinus Nigra, som har i stort sett samma brandegenskaper som vanlig tall (Pinus Sylvestris). Fuktinnehållet var 12 % och brandförsöken utfördes inomhus, men i en relativt stor lokal där brandgaserna vädrades ut med fläktar.



Figur 1. Träribbstapeln sedd uppifrån.

Tabell 1. Beräkning av exponerad bränsleyta.

Bränsleyta	Per ribba	Totalt	Stapelns dimensioner	
Ribbornas yta [m ²]	0.129	7.74	Diameter [m]	0.78
Anliggningsyta [m ²]	0.012	0.71	Bottenyta [m ²]	0.48
Exponerad yta [m ²]	0.117	7.03	Höjd [m]	1.02

Från ett försök utan släckinsats konstaterades att massavbrinningshastigheten och därmed effektutvecklingen når sitt maximum efter en halv minut och avtar sedan. Efter 6 minuter har den minskat till två tredjedelar av sin maximala effekt och är sedan i det närmaste konstant fram till 20 minuter efter antändning. Därefter avtar massavbrinningen. Förbrinntiden valdes därför till 6 minuter. Då var hela träribbstapeln involverad i branden, samtidigt som tändmaterialet hade brunnit upp.

Släckinsatsen

Släckningen skulle simulera manuell insats med en pyttsspruta. Munstycket var därför av samma typ som i pyttssprutor och placerat 3.66 m från bålet centrum. En mekanisk anordning gav munstycket en oscillerande rörelse. Det riktades upp och ner med en hastighet av 58 gånger per minut. Dessutom var träribbstapeln placerad på ett stativ, som roterade tio varv per minut.

Munstycket gav en kontinuerlig jetstråle med trycket 2.1 bar och hastigheten vid munstycket 17 m/s vid samtliga försök. Flödet varierades genom användning av olika storlek på munstycket.

Släcktiden var i försöksserien definierad som tiden från att släckmedelsgivningen påbörjades tills dess bålet viktminskning blev negativ (då alltså vattenpåföringen var större än avbrinningshastigheten). Viktminskningen finns inte redovisad i artikeln annat än för exempel av experiment.

Resultat

De resultat som använts här kommer från försök som finns redovisade i figurerna 15 och 16 i originalartikeln. Ur figurerna har avlästs tiden till släckning och släckvattenflödet, enligt Tabell 2. Den totala volymen har beräknats och storheterna har normeras mot den exponerade bränsleytan.

Tabell 2. Resultat från släckförsök vid brand i träribbstaplar.

Försök	Flöde [l/s]	Volym [l]	Kontrolltid [s]	Norm. flöde [l/m ² s]	Norm. volym [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
1	0.0118	12.3	1040	0.00168	1.75	148
2	0.0135	9.41	700	0.00192	1.34	100
3	0.0157	5.26	336	0.00223	0.75	48
4	0.0188	4.05	216	0.00267	0.58	31
5	0.0250	2.49	100	0.00355	0.35	14
6	0.0409	2.01	49	0.00581	0.29	7.0
7	0.0127	20.0	1570	0.00181	2.84	223
8	0.0129	10.6	826	0.00183	1.51	117
9	0.0144	11.2	780	0.00205	1.60	111
10	0.0144	7.76	540	0.00205	1.10	77
11	0.0166	7.59	456	0.00237	1.08	65
12	0.0173	5.51	318	0.00246	0.78	45
13	0.0210	3.16	150	0.00299	0.45	21
14	0.0250	2.67	107	0.00355	0.38	15
15	0.0401	1.83	46	0.00570	0.26	6.5

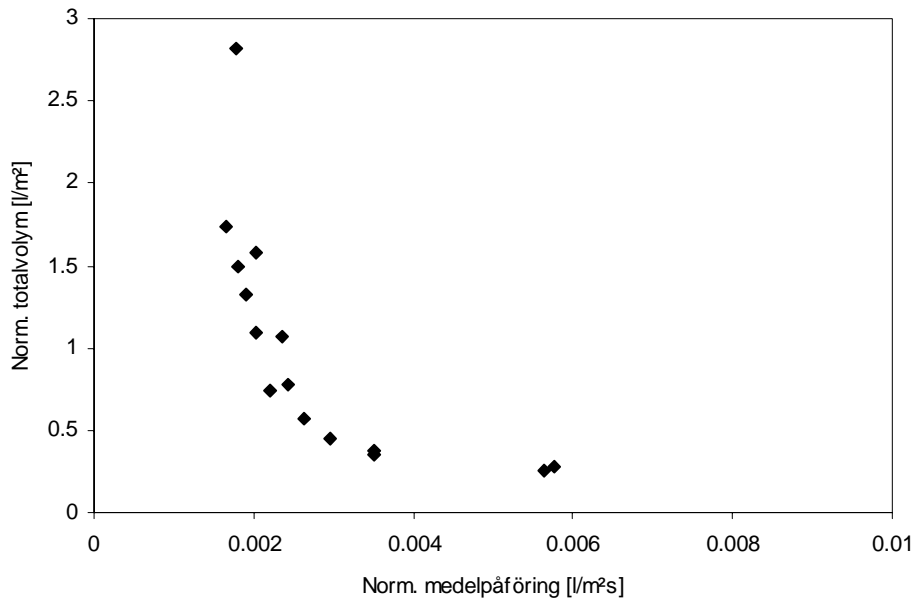
Resultaten kan illustreras som i Figur 2 och Figur 3. Några försök med kortare kontrolltid än 49 s gjordes inte.

För försöken med fribrinnande träribbstaplar kan fyra slutsatser dras. Den första är att det minsta flödet för att släckning skall kunna ske är 0.011 l/s i det aktuella fallet. Detta flöde ger dock en extremt lång kontrolltid. Om flödet delas med den totala bränsleytan, ges värdet 0.0016 l/m²s.

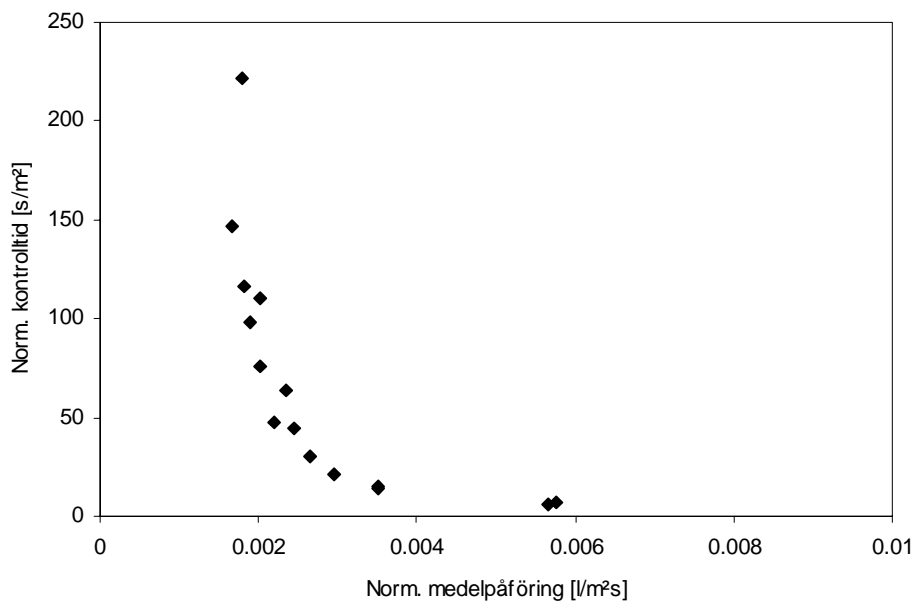
Vidare blir den minsta totalvolymen som ger släckning blir 0.26 l/m^2 räknat per bränsleyta.

Flödet då den totala vattenåtgången är som minst, blir i storleksordningen $0.006 \text{ l/m}^2\text{s}$, normerat mot bränsleytans storlek.

Det minsta flödet i testomgången gav en släcktid om 49 s. Normerad mot bränsleytan blir släcktiden 6.4 s/m^2 .



Figur 2. Totalvolymen som funktion av medelpåföringen, båda normerade mot bränsleytan.



Figur 3. Kontrolltiden som funktion av släckvattenflödet.

2.2 ISO-rum

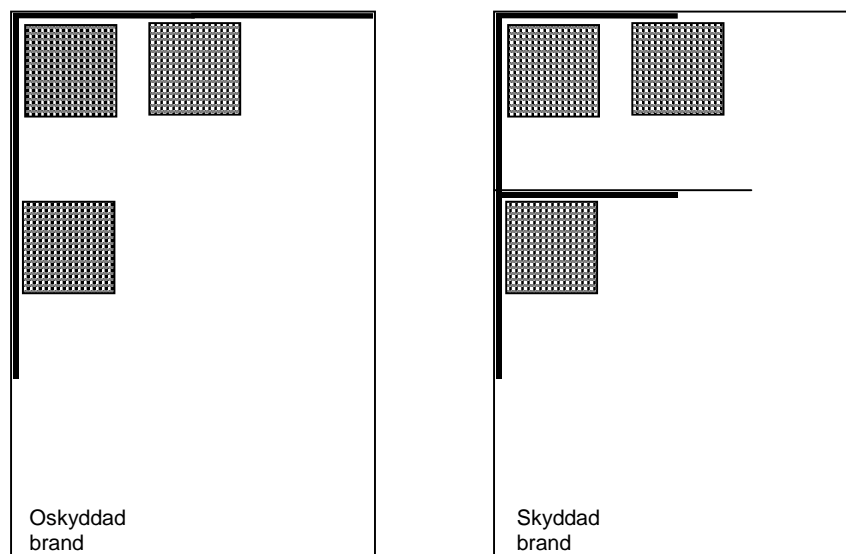
Referens

Försöken finns beskrivna i två rapporter utgivna av School of Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1998. Den första är skriven av Michael J. Dunn och heter *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Unshielded Fires*. Den andra är skriven av Neil Gravestock och heter *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Shielded Fires*. De har rapportnummer 98/2 resp. 98/3

Branden

Brandscenariot utgjordes av träribbstaplar och spånskivor längs väggarna i ett ISO-rum, Rummets dimensioner var $2.4 \cdot 3.6 \text{ m}^2$ och det hade 2.4 m i takhöjd. En dörröppning mitt på kortsidan hade bredden 1.2 m (bredare än ISO-standarden anger) och höjden 2.0 m. Utanför brandrummets öppning fanns en huv som samlade in brandgaserna för effektmätning.

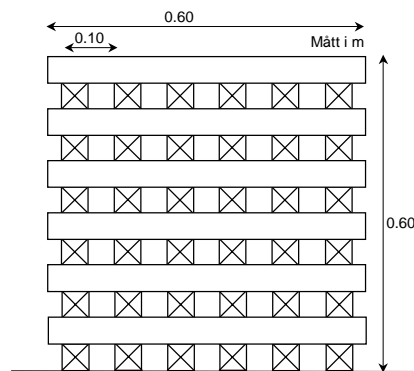
Två försöksserier gjordes, en med branden öppet placerad i rummet och en med branden delvis placerad bakom en avgränsande vägg, vinkelrätt mot långväggen, 1.2 m från inre kortsidan. Väggen var 1.7 m bred, vilket lämnade en 0.7 m bred öppning. Den skyddade branden hade i övrigt stora likheter med den oskyddade.



Figur 4. Planskiss över brandrummet i fallet med oskyddad resp. skyddad brand.

Bränslet bestod av tre träribbstaplar och fyra spånskivor, totalt med en exponerad bränsleyta om 31 m^2 . Träribbstaplarna var placerade 0.050 m från väggen. Av de inre träribbstaplarna var en placerad 0.050 m från långväggen och den andra i rummets centrumlinje. Som antändningskälla användes en skål med 2 dl diesel under varje träribbstapel.

De tre träribbstaplarna hade måtten $0.60 \cdot 0.60 \text{ m}^2$ och höjden 0.6 m. De var uppbyggda enligt Figur 5, av träribbor med tvärsnittet $0.050 \cdot 0.050 \text{ m}^2$ och längden 0.60 m. Träet var torkat. De fyra spånskivorna (medium density fibreboard) var spikade mot väggmaterialet enligt Figur 4 och hade måtten $2.35 \cdot 1.20 \text{ m}^2$ och tjockleken 0.004 m.



Figur 5. Träribbstapeln sedd från sidan.

Tabell 3. Beräkning av exponerad bränsleyta.

Bränsleyta	Enhet	Totalt	Stapelns dimensioner	
Ribbornas yta [m ²]	9.00	27.0	Bredd [m]	0.60
Anliggningsytor [m ²]	2.16	6.5	Längd [m]	0.60
Spånskiveyta [m ²]	2.82	11.3	Bottenyta [m ²]	0.36
Exponerad yta [m ²]		31.8	Höjd [m]	0.60

Träribbstaplarna som användes vid de skyddade brandförsöken var identiska med dem vid de oskyddade försöken med undantag för att höjden ökats till 0.75 m. Detta ger tre lager ribbor extra och en ökning av den exponerade bränsleytan till 36.9 m². De fyra spånskivorna var spikade mot väggmaterialet i dubbla lager.

Släckinsatsen

Vid släckangreppet användes tre typer av släckmedel: vatten ur högtrycksstrålrör, vatten med skumtillsats ur högtrycksstrålrör samt skum med luftinblandning under högtryck. I denna studien beaktas endast försöken med rent vatten.

Varje försök upprepades tre gånger, för att kompensera för variationer i resultat på grund av den manuella släckningen. Det nominella flödet ur strålröret var 2.8 l/s, och trycket var 26 bar. Konvinkeln var 60°. Branden tilläts gå till övertändning och släckangreppet påbörjades när pappret på gipsskivan på golvet brunnit upp. Rökdykaren intog sin position direkt utanför dörröppningen. Strålröret riktades först mot taket och vattnet sprutades sedan i en cirkulerande rörelse. Vid de oskyddade brandförsöken avslutades släckangreppet efter rökdykarens bedömning. Vid de skyddade försöken användes samma givningstid, 10 s, vid alla tre försöken.

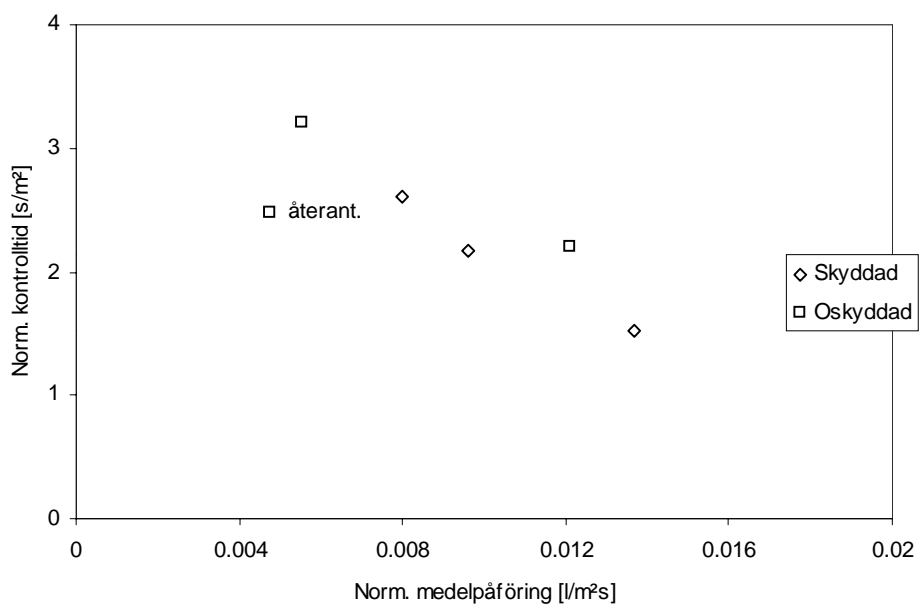
Resultat

I Tabell 4 samt i Figur 6 och Figur 7 sammanfattas resultaten från försöken i de två experimentserierna. Kontrolltiden avser här tiden tills temperaturen är reducerad till 200 °C som ett genomsnitt i övre delen av rummet.

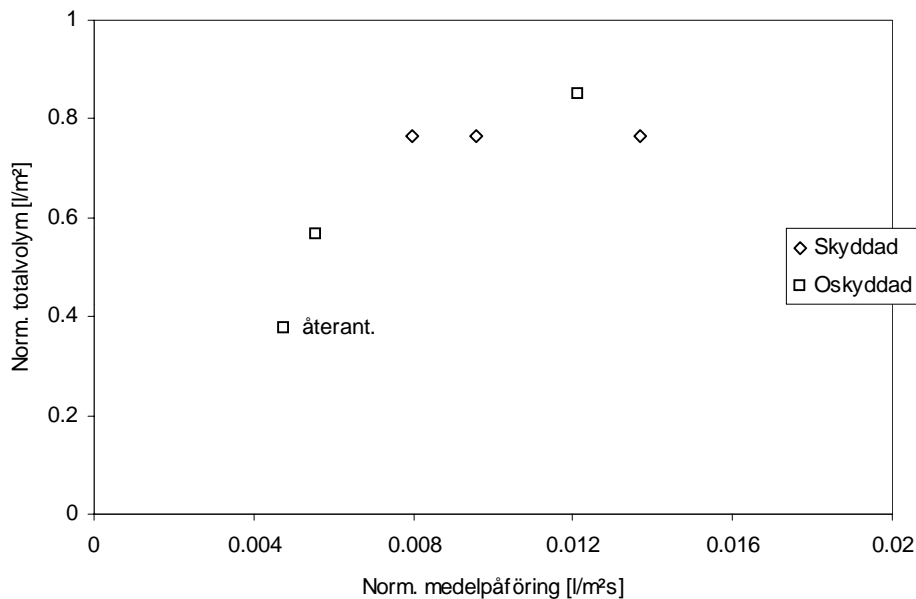
Tabell 4. Resultat från släckförsöken.

Försök (datum, typ)	Nominellt flöde [l/s]	Kontrolltid [s]	Givnings-tid [s]	Total-volym [l]	Norm. flöde [l/m ² s]	Norm. volym [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
2/04, Oskyddad	1.929	70	14	27	0.0121	0.85	2.20
2/12, Oskyddad	2.4	79*	5	12	0.0048	0.38	2.48
3/18, Oskyddad	2.25	102	8	18	0.0055	0.57	3.21
27/11, Skyddad	2.8	80	10	28.3	0.0096	0.77	2.19
2/12, Skyddad	2.8	56	10	28.3	0.0137	0.77	1.52
12/12, Skyddad	2.8	96	10	28.3	0.0080	0.77	2.60

* återantändning skedde



Figur 6. Kontrolltiden som funktion av medelpåföringen, båda normerade mot den exponerade bränsleytan.



Figur 7. Den totala volymen som funktion av medelpåföringen för brandförsöken i ISO-rummet.

2.3 20-fots container

Referens

Försöken utfördes av Lars Göran Bengtsson och Johan Lundin 1995. De har beskrivit sin försöksserie i rapporten *Fire Demand Model, resultat av fullskaleförsök i container*, utgiven av Räddningsverket med nummer R53-116/95, samt till en del också i rapporten *Utvärdering av Fire Demand Model, och utveckling av släckteknik och släckmetod*, utgiven av Räddningsverket med nummer R53-117/95.

Branden

Släckscenariot omfattar en brand i ytskikt på väggar och i tak i ett mindre rum, släckt med ett fast dimstrålrör från dörröppningen.

Brandrummet var en invändigt isolerad 20-fots container med golvytan $6.0 \cdot 2.1 \text{ m}^2$ och takhöjden 2.4 m. Öppningen var en dörr med ytan 1.7 m^2 , i en försöksomgång ersatt av en fönsteröppning med ytan 0.85 m^2 och i en omgång kompletterad med en taklucka med 0.64 m^2 yta.

Bränslet utgjordes av spånskivor, som lades på kedjor nära taket, samt ställdes mot väggen. Taket, inre kortsidan och den innersta tredjedelen av långväggarna var klädda vid samtliga försök. Vid ett par försök ökades bränsleytan till ca två tredjedelar av långväggarna. Ytan anges i rapporten till 27 m^2 respektive 39 m^2 , men då skivorna inte var monterade tätt mot väggen/taket, har ytorna här ökat med 50 % för att ta hänsyn till den dubbelsidiga brandpåverkan framför allt i taket. Som antändningskälla användes några bitar porös spånskiva indränkt i brännbar vätska.

Hur olika parametrar varierats vid de olika försöken framgår av Tabell 5. Försök A1 och A2 inte använts på grund av vindpåverkan under försöken.

Tabell 5. Försöksparametrar.

Benämning	Öppning(ar)	Droppstorlek [mm]	Bränsleyta [m ²]	Antal släckangrepp
A1, A3	dörr	0.25	41	1
A2, A4	dörr	0.65	41	1
B1	dörr	0.25	59	1
B2	dörr	0.65	59	2
C1	fönster	0.25	41	2
C2	fönster	0.65	41	2
D1	dörr+tak	0.25	41	1
D2	dörr+tak	0.65	41	2

Släckinsatsen

Släckning gjordes med ett fast strålrör placerat i öppningen. Detta innebär att släckinsatsen inte blir fullt så effektiv som om ett rörligt munstycke hade använts och att experimenten egentligen inte är fullt jämförbara med manuella släckinsatser.

Två typer av strålar användes, dels en med 0.25 - 0.30 mm droppar (12 bar i munstyckstryck), och dels en stråle med 0.6 - 0.7 mm i droppstorlek (5 bar). Ett specialstrålrör användes där olika antal munstycken kunde vara öppna. Vattenflödet valdes innan försöket och reglerades med antalet öppna munstycken.

Branden fick gå till övertändning varefter vattenpåföringen gjordes. Som släckkriterium användes tiden från vattenpåföringen börjar tills temperaturen i brandrummet sjunkit till under 200 °C. I originalrapporten valdes ett termoelement ut som representativt, men här har i stället medeltemperaturen i brandrummet beräknats med hjälp av data från åtta termoelement fördelade på två staplar. De kontrolltider som redovisas här avviker därför något från de i originalrapporten.

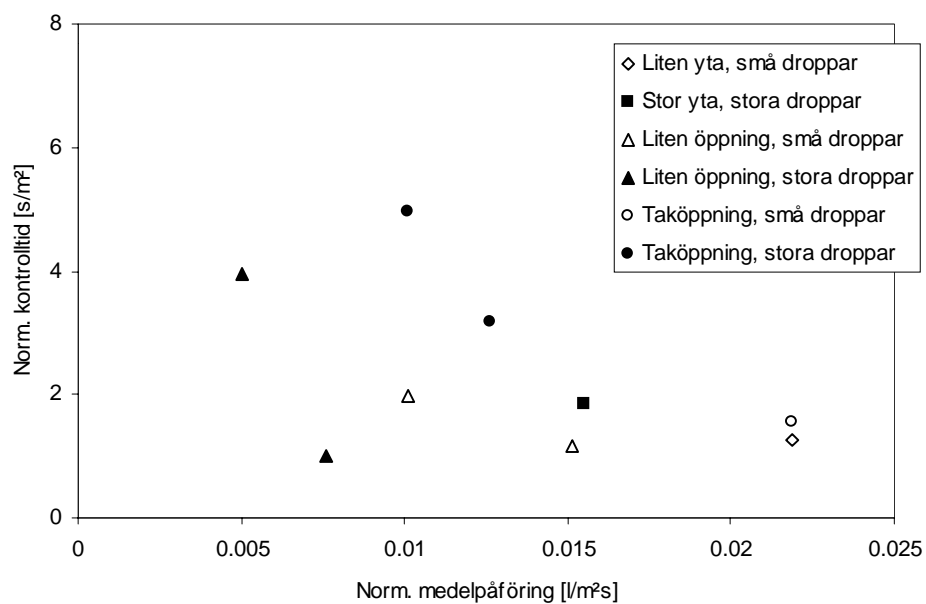
Resultat

I Tabell 6 visas resultaten från försöken i ISO-rummet och i det efterföljande diagrammet visas kontrolltiden som funktion av påföringshastigheten. Ett försök som sticker ut, är försök C2 (fyllda trianglar i diagrammet), som gav en avsevärt kortare kontrolltid än vid övriga försök. Detta tillskrivs choking i rapporten. Fönsteröppningen är så liten att den spridda vattenstrålen riktas mot brandgaserna och att rörelseenergin i vattenstrålen motverkar dess rörelse. Brandgasflödet ut ur rummet hejdas, varpå branden kväver sig själv. I Figur 9 visas den totala volymen släckvatten som funktion av medelpåföringen.

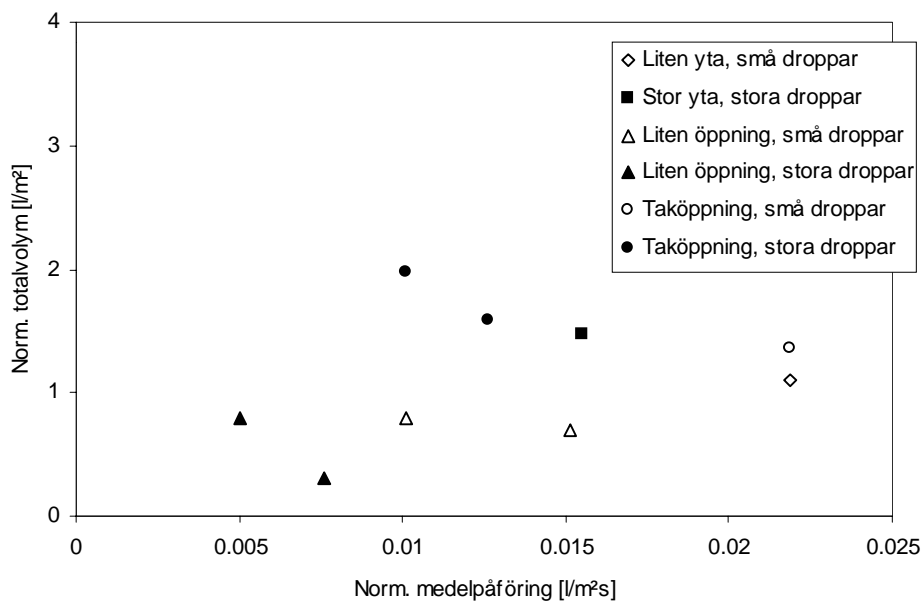
Tabell 6. Resultat från släckförsöken i 20-fotscontainern.

Försök	Vattenflöde [l/s]	Kontrolltid [s]	Totalvolym [l]	Norm. flöde [l/m ² s]	Norm. volym [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
A3:1	0.87	50	43.3	0.0219	1.09	1.26
A4:1	0.40	660*	264	0.0101	6.67	16.7
B1:1	0.87	283*	245	0.0168	4.75	5.48
B2:1	0.50	429*	214	0.0097	4.16	8.31
B2:2	0.80	95	76.0	0.0155	1.47	1.84
C1:1	0.60	46	27.6	0.0152	0.70	1.16
C1:2	0.40	78	31.2	0.0101	0.79	1.97
C2:1	0.30	40	12.0	0.0076	0.30	1.01
C2:2	0.20	157	31.4	0.0051	0.79	3.96
D1:1	0.87	62	53.7	0.0219	1.36	1.57
D2:1	0.50	126	63.0	0.0126	1.59	3.18
D2:2	0.40	196	78.4	0.0101	1.98	4.95

* Tre försök bröts innan släckkriteriet uppnåddes. Här har tiden extrapolerats fram med hjälp av temperaturkurvan. Dessa försök finns inte med i resultatdiagrammen.



Figur 8. Kontrolltiden som funktion av påföringshastigheten.



Figur 9. Totalvolymen som funktion av medelpåföringen vid brandförsök i 20-fots-containern.

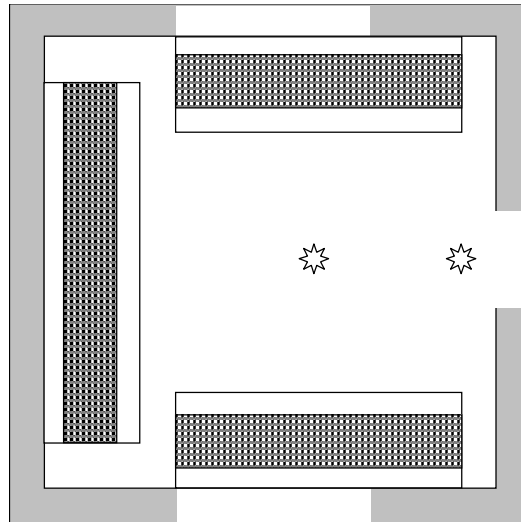
2.4 Brandövningshus

Referens

Försöken finns beskrivna i en rapport utgiven 1990 av Central Fire Brigades Advisory Council, Scottish Central Fire Brigades Advisory Council, Joint Committee on Fire Research, Research Report Number 36, *The Use of High Pressure and Low Pressure Pumps With Hosereel Systems*, författad av J.G. Rimen, Home Office, Fire Experimental Unit.

Branden

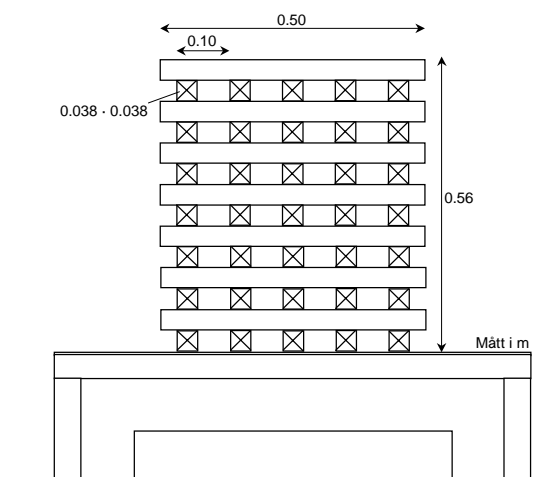
Brandscenariot bestod av stora träribbstaplar längs väggarna i ett rum, som släcktes med en simulerad rökdykarinsats. Brandrummet hade måtten $4.27 \cdot 4.27 \text{ m}^2$ och 2.75 m i takhöjd. Tre öppningar fanns, en dörr med bredden 0.91 m och höjden 1.99 m och två fönster, vardera med bredden 1.83 m och höjden 1.22 m , med nederkanten 1.06 m ovan golvnivån. Brandrummet var byggt inne i en hangar, med en huv som samlade ihop brandgaserna som strömmade ut från brandrummets öppningar.



Figur 10. Planskiss över brandrummet. Stjärnorna markerar positionerna för släckangreppet.

Bränslet bestod av träribbstaplar placerade i brandrummet enligt Figur 10. Tre separata staplar användes, uppbyggda enligt Figur 11 av träribbor med tvärsnittet $0.038 \cdot 0.038 \text{ m}^2$. Alla staplarna hade bredden 0.50 m och längden var 2.70 m hos två av staplarna och 3.40 m hos den tredje. Träribbstaplarna var utförda enligt British Standards Specification 5423:1980. Materialet var tall (*Pinus Sylvestris*) med ett fuktinnehåll varierande mellan 12.5 och 17.5% . För att tända träribbstaplarna, var dessa placerade på ett stativ över kar med brännbar vätska med en brinntid om två minuter.

Den totalt exponerade bränsleytan kan beräknas till 65 m^2 . I beräkningen har tagits hänsyn till att bränsleytan minskar med tiden. Efter 8 minuter då släckinsatsen påbörjas, har i storleksordningen 4 mm brunnit, vilket gör att träribbornas dimension minskar från 0.038 m till 0.030 m . (Detta innebär en minskning av ytan om ca 17% .)



Figur 11. Träribbstapeln sedd från sidan

Tabell 7. Beräkning av exponerad bränsleyta.

Bränsleyta [m ²]	2.7 m	3.4 m	Totalt	Stapelns dimensioner	2.7 m	3.4 m
Korta ribbornas yta	11.7	14.7	38.1	Bredd [m]	0.50	0.50
Långa ribbornas yta	11.4	14.3	37.1	Längd [m]	2.70	3.40
Anliggningsytor	3.2	4.0	10.3	Bottenyta [m ²]	1.35	1.70
Exponerad yta	19.9	25.1	64.9	Höjd [m]	0.56	0.56

Släckinsatsen

Nio försök har tagits med i denna sammanställning, i rapporten betecknade med nummer 17-18 och 20-26. Experimenten omfattar tre identiska försök med vardera tre olika droppstorlekar.

Strålröret som användes var ett Elkhart Select-o-flow, S.F.S.-G. Flödet var 1.67 l/s och konvinkeln 26° vid samtliga försök. Däremot varierades trycket och flödesinställningen, vilket gav olika droppstorlek (Sauter medel) och olika dropphastighet med efterföljande variation i kontrolltid.

Tabell 8. Beskrivning av strålbilden för de olika försöken.

Strålbild	Munstycks tryck [bar]	Droppstorlek [mm]	Dropphastighet [m/s]
A	4.2	0.498	4.6
C	29.0	0.278	4.1
B	9.2	0.417	7.1

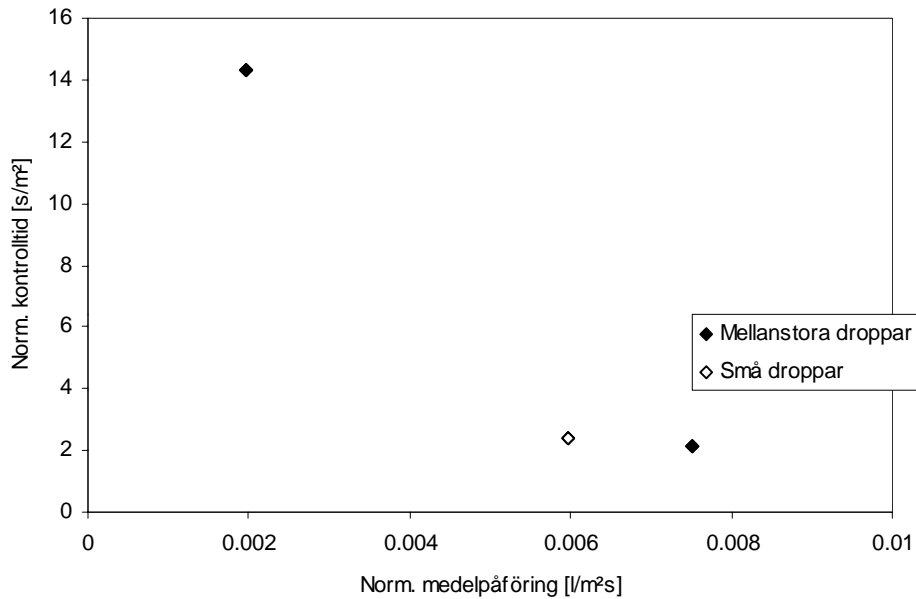
Strålröret styrdes mekaniskt enligt ett fixt rörelsemönster. Släckinsatsen påbörjades 8 minuter efter antändning vid samtliga försök. Under insatsens första två minuter skedde angreppet från en punkt vid dörröppningen, sedan flyttades strålröret fram till mitt i rummet. Under hela förloppet svepte strålen i sidled med en rörelse som täckte in träribbstaplarna.

Resultat

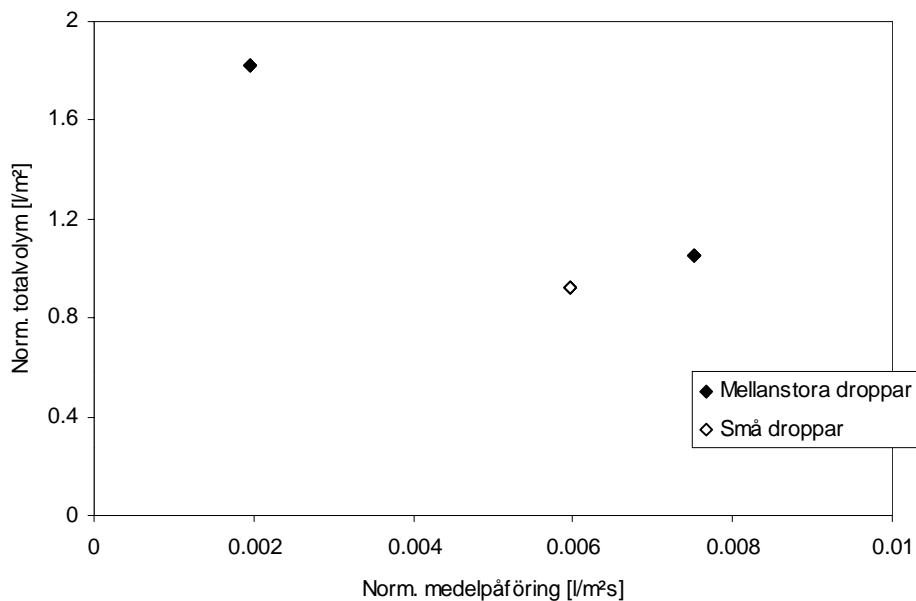
I Tabell 9 sammanfattas resultaten från nio av försöken i experimentserien. De resultat som redovisas är medelvärden från tre lika försök vardera. Data för samtliga försök eller spridningsmått finns inte tillgängligt, men försökresultaten är i stort sett identiska för dublett-försöken.

Tabell 9. Resultat från släckförsök i brandövningshuset.

Försök nr	Strålbild	Kontrolltid [s]	Givningstid [s]	Totalvolym [l]	Norm flöde [l/m ² s]	Norm. vol. [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
17, 20, 21	A	930	71	118	0.0020	1.82	14.3
18, 22, 23	C	140	36	60	0.0066	0.92	2.16
24, 25, 26	B	155	41	68	0.0068	1.05	2.39



Figur 12. Kontrolltiden som funktion av medelpåföringen för de tre släckinsatserna.



Figur 13. Totalvolymen vatten som funktion av medelpåföringen.

Det som skilde de olika försöken åt var trycket vid munstycket och därmed droppstorleksfördelningen. Denna tycks dock inte vara avgörande enligt Figur 13. Vad som inte framgår av figurerna är att vattendropparnas utgångshastighet för försöken med små droppar och det med snarlikt resultat var hög. Vid det försök som gav längre kontrolltid och större totalvolym än de andra två försöken hade dropparna en lägre utgångshastighet.

2.5 Två 40-fots containrar

Referens

Försöken utfördes vid Räddningsverkets skola i Skövde 1998 av Sören Lundström och Stefan Svensson. En liknande försöksserie genomfördes i samma anläggning 1996 och finns beskriven i *Försök med högtrycksbrandsläckning*, utgiven av Räddningsverket med beställningsnummer P21-196/97. Den andra omgången av försök är ännu inte publicerad.

Branden

Brandrummet utgjordes av två ihopbyggda 40-fots containrar, vilket gav ett brandrum som invändigt var 12 m långt, 5 m brett och 2.5 m högt. Väggmaterialet var av oisolerad stålplåt. De öppningar som användes under försöken var en bred liggande öppning, 5 m bred och 1.1 m hög, med tröskeln i nivå med golvet. Vid försöken 1996 användes dessutom en lucka 0.5 m i kvadrat, mitt på ena långsidan.

Som bränsle användes 18 m² · 16 mm spånskiva, som ställdes på balkar längs övre delen av väggarna och lades på kedjor strax under taket längst in i containern. I de två inre hörnen utgjorde ett antal vedträn var sin antändningskälla, som tändes samtidigt. I originalrapporten anges bränsleytan till 18 m², men med tanke på att brandpåverkan blir dubbelsidig och med tändkällorna inräknade blir den exponerade bränsleytan större, ca 31 m².

Tabell 10. Beräkning av exponerad bränsleyta.

Bränsleyta [m ²]	
Bakstycke (ensidig)	6.0
Tak (tvåsidig)	12.0
Sidor (ensidig)	5.8
Hörn (ensidig)	2.4
Vedträn (fyr-sidig)	5.0
Totalt	31.2

Släckinsatsen

Vid släckinsatserna användes två olika typer av släckutrustning. Dels användes ett vanligt lågtrycksstrålrör, Fogfighter, med ett flöde om 100 och 300 l/min. Dels användes ett högtryckssystem. Till detta användes två modeller av strålrör, Akron med ett flöde om 120 och 170 l/min, och Rosenbaum med flödet 176 l/min. Vid försöksserien från 1996 användes dessutom ett Unifire lågtrycksstrålrör med flödet 125 l/min samt dimspik med flödet 66 resp 58 l/min. Droppstorleken mättes ej under försöken, men anges vara klart mindre för högtrycks- än för lågtryckssystemet.

Vid försöken 1998, de som används i denna studie, gjordes manuell släckinsats med ett rörligt strålrör från en punkt inne i containern ca 5 m från bakväggen. Strålrörets höjd över marken var ca 0.5 m. Försöksserierna från 1996 och 1998 är lika, sånär som på en punkt, nämligen strålrörets placering. Under försöken 1996 var strålröret fast, riktat genom en lucka i väggen. Luckan var placerad i långväggen, 5 m från containerns bakre vägg. Strålrörets höjd var ca 1.5 över golvnivån, riktat vinkelrätt mot väggen. Det var alltså endast en mindre del av strålen som träffade bränslet. På grund av det fast

monterade strålröret vid den första försöksomgången, har dessa försök inte använts i denna studie

Simulering

För att utröna möjligheterna att förutsäga släckförloppet vid större släckscenarier gjordes simuleringar av brandscenarierna med datorprogrammet Fire Demand Model, i en version daterad 1992-02. I princip beskriver modellen släckförloppet i form av hur temperaturen i brandrummet sjunker. En jämförelse av temperaturkurvorna för försöken visar att modellen på ett relativt bra sätt kan beskriva släckscenariot, trots de snabba förloppen.

Högtryckssläckning och lågtryckssläckning studerades vid försöksserien. För högtryckssystemen har antagits en droppstorlek om 0.2 mm och för lågtryckssystemen 0.7 mm. Övriga indata illustreras av Tabell 10 där samtliga indata från en grundsimulering återfinns.

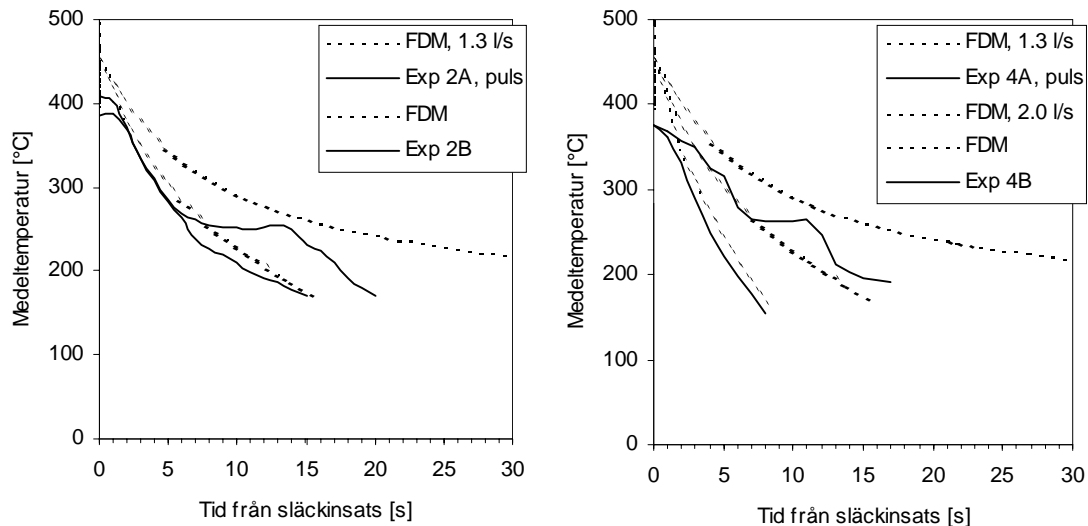
Resultat från jämförelsen mellan experimenten och beräkning med Fire Demand Model visas för högtryckssläckning i Figur 14. Programmet ger en förutsägelse som följer den experimentellt uppmätta väl. Tyvärr innebär den exponentiellt avtagande temperaturen att en relativt liten avvikelse från experimenten ändå ger en stor avvikelse vid jämförelse. Detta gäller även vid lågtryckssläckning, vilket framgår av Figur 15. Där framgår också att datormodellen har svårt att hantera större släckvattenflöden.

Datormodellen har också svårt att hantera den manuella släckinsatsen med ett pulserande flöde och med ett strålrör som är placerat mitt inne i brandrummet.

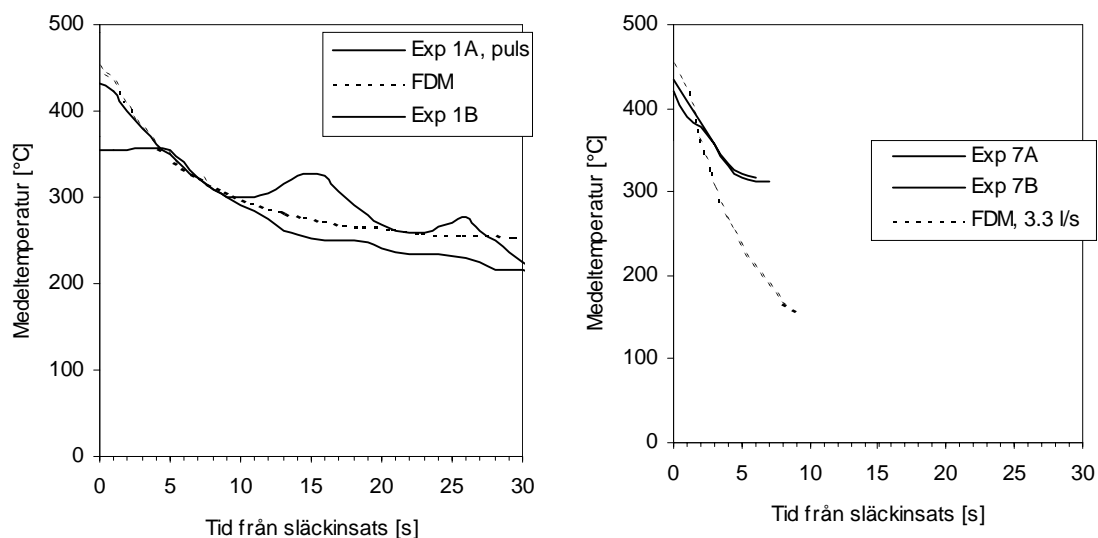
Vid experiment med högtrycksstrålrör med flödet 2.0 l/s och 2.8 l/s finns försök tillgängliga med både kontinuerligt flöde och med pulserande flöde. Där framgår att temperaturen kurvan för släckning med kontinuerlig respektive pulserande stråle blir i stort sett lika, men att den ges en plåtå då uppehållen görs.

Tabell 11. Grundindata för simuleringar med Fire Demand Model.

1	ECHO INPUTS FLAG (0=NO, 1=YES)
0.000000	START WRITE TIME. ROUTINES TO OUTPUT DEBUG WRITE STATEMENTS:
1	SIMULATION NUMBER
1	OUTPUT TABULAR TIME/TEMPERATURE RESULTS (0=NO, 1=YES)
1	PLOT OUTPUT DATA (0=NO, 1=TIME/TEMP, 2=FAILURE LINE)
srv40	
0	ENGLISH UNITS(1) OR METRIC UNITS(0)
143.0000	INITIAL WALLS/CEILING AREA (M2)
60.00000	FLOOR AREA (M2)
2.500000	ROOM HEIGHT (M)
1	NUMBER OF WALL VENTS
0.000000	TIME AT WHICH WALL VENT IS OPENED (MINUTES)
30.00000	TIME AT WHICH WALL VENT IS CLOSED (MINUTES)
1.100000	HEIGHT OF WALL VENT (M)
2.500000	WIDTH OF WALL VENT (M)
1.100000	HEIGHT OF TOP OF WALL VENT ABOVE FLOOR (M)
0	NUMBER OF ROOF VENTS
0.030000	WALLS/CEILING/FLOOR THICKNESS (M)
30	WALLS/CEILING/FLOOR SEGMENTS
0.011000	WALLS/CEILING/FLOOR THERMAL CONDUCTIVITY (KCAL/M_MIN_DEG C)
400.0000	SPECIFIC HEAT OF WALLS/CEILING/FLOOR (KCAL/M3_DEG C)
0.100000	WALL/CEILING-GAS HEAT CONVECTION COEFFICIENT CONSTANT (KCAL/M2_MIN_(DEG C)**1/3)
5.400000	FUEL LOAD (KG/M2)
31.00000	FUEL SURFACE AREA (M2)
4.920000	AIR/FUEL RATIO
3583.000	EFFECTIVE HEAT OF COMBUSTION OF FUEL (KCAL/KG)
0.500000	WALL/CEILING-GAS EMISSIVITY
0	FUEL PLASTIC(1) OR NON-PLASTIC(0)
425.0000	WALL TEMPERATURE AT FLASHOVER (DEG C)
625.0000	GAS TEMPERATURE AT FLASHOVER (DEG C)
200.0000	WALL TEMPERATURE AT FIRE CONTROL (DEG C)
200.0000	GAS TEMPERATURE AT FIRE CONTROL (DEG C)
80.00000	WATER APPLICATION RATE (L/MIN)
0.200000	VOLUME MEDIAN DROP SIZE (MILLIMETERS)
3.000000	TIME WATER APPLIED (MINUTES)
10.00000	WATER EXPOSED FUEL AREA FRACTION (PERCENT)
25.00000	NOZZLE PRESSURE (KG/CM2)
0.000000	DISTANCE OF NOZZLE FROM VENT (M)
60.00000	FULL CONE ANGLE OF STREAM (DEGREES)
1.000000	SWEEP TIME OF COVERAGE (SECONDS)
0	WATER SPLATTERS FROM CEILING (0=NO, 1=YES)
5.000000	SIMULATION TIME LIMIT (MINUTES)
20.00000	TIME STEP DIVISOR



Figur 14. Jämförelse mellan experimentella data och beräkningar med Fire Demand Model för högtryckssläckning. I diagrammet till vänster är flödet 2.0 l/s och till höger 2.8 l/s om inte annat anges.



Figur 15. Jämförelse mellan experimentella data och Fire Demand Model för lågtryckssläckning. I diagrammet till vänster är flödet 1.7 l/s och till höger 5.0 l/s om inte annat anges

De flesta data finns återgivna i försöksrapporten. Dock bör påpekas att nya beräkningar från originaldata har gjorts beträffande temperaturen i brandrummet och kontrolltiden. Den temperatur som används är medelvärdet av sex termoelement placerade på en respektive två meters höjd och på tre ställen i brandrummets längdlinje.

Med en ny temperaturkurva måste också kontrolltiden räknas om. För att kunna göra en jämförelse mellan experimenten och modellen, valdes att justera tidsskalan, så att kontrolltiden startar då temperaturen påbörjat sin snabba sänkning. Tiden startar alltså några sekunder senare än då temperaturen har sitt maximum. På grund av de dynamiska effekterna vid släckningen kan också konstateras att precis vid släckstart ges en

temperatursänkning längst in i brandrummet, medan det vid öppningen kommer en temperaturökning under 3-4 sekunder, innan temperaturen börjar sjunka.

Resultat

Släckvattenflöde, total släckvattenmängd samt kontrolltid från experimenten återfinns i Tabell 12. Där återfinns också resultaten normerade mot bränsleytan.

Tabell 12. Resultat från släckförsöken i 40-fotscontainrarna.

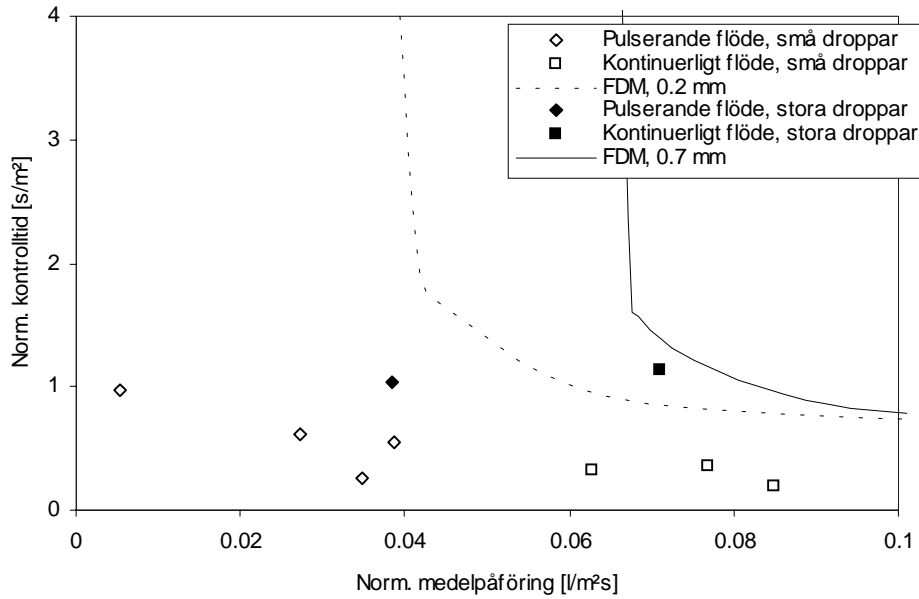
Försök, Nom.flöde [l/s]	Dropstorl. [mm], typ	Medel flöde [l/s]	Kontrolltid [s]	Totalvolym [l]	Norm. flöde [l/m ² s]	Norm. volym [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
1A, 1.7	0.7, puls	1.19	32	38	0.038	1.2	1.03
1B, 1.7	0.7, kont	2.20	35	77	0.071	2.5	1.13
2A, 2.0	0.2, puls	1.20	17	20	0.039	0.66	0.55
2B, 2.0	0.2, kont	2.38	11	26	0.077	0.85	0.35
3A, 2.0	0.2, puls	1.08	8	8.6	0.035	0.28	0.26
3B, 2.0	0.2, kont	1.95	10	19	0.063	0.63	0.32
4A, 2.8	0.2, puls	0.84	19	16	0.027	0.52	0.61
4B, 2.8	0.2, kont	2.63	6	16	0.085	0.51	0.19
6A, 2.9	0.2, puls	0.17	30	5.0	0.0054	0.16	0.97
6B, 2.9	0.2, puls		*				
7A, 5.0	0.7, puls		*				
7B, 5.0	0.7, puls		*				

* försöket brutet innan släckkriteriet uppnåtts

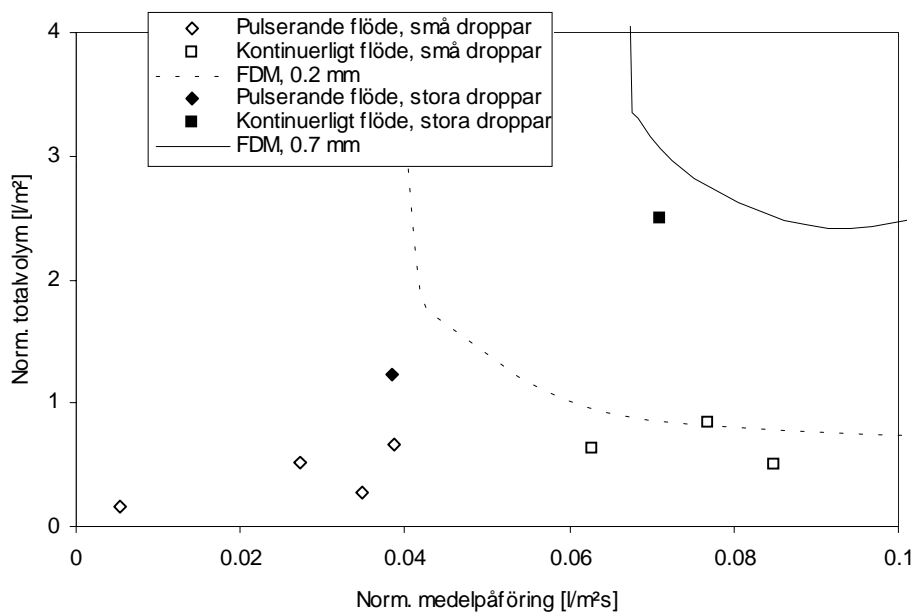
Resultaten, både från experimenten och från de jämförande beräkningarna med Fire Demand Model återfinns i Figur 16 för kontrolltiden och i Figur 17 för den totala mängden vatten som åtgått för kontroll. Fire Demand Model ger ett principiellt lika utssende på förhållandet mellan kontrolltid och påföring som de experimentellt uppmätta värdena, men de faktiska värdena stämmer dåligt överens.

Beträffande den totala mängden vatten som åtgår ger Fire Demand Model resultat som inte stämmer överens med den experimentellt uppmätta mängden.

För fallet med lågtrycksstrålrör och 0.7 mm droppar, ger beräkningarna den minsta volymen släckvatten 75 l vid flödet 170 l/min. Det ger en kontrolltid om 26 s. För 0.2 mm droppar blir den minsta volymen 57 l, vid flödet 120 l/min. Kontrolltiden blir då 28 s. En kontrolltid om en halv minut ger alltså i båda fallen den minsta vattenvolymen och därmed ett optimalt resursutnyttjande. Enligt beräkningarna sker det vid flödet 170 l/min för strålrör med 0.7 mm droppar och vid 120 l/min för ett strålrör med 0.2 mm droppar. Ett lägre flöde ger en längre tid och därmed en större totalvolym. Med ett högre flöde blir inte släcktiden så mycket kortare, däremot ökar den totala vattenvolymen. Det minsta flödet för släckning beräknades till 125 l/min respektive 75 l/min för 0.7 och 0.2 mm droppar.



Figur 16. Kontrolltiden som funktion av påföringshastigheten.



Figur 17. Totalvolymen som funktion av medelpåföringen, båda normerade mot bränsleytan.

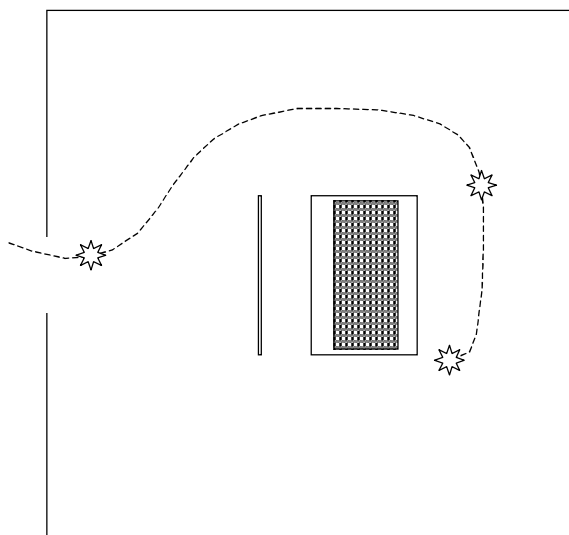
2.6 Stor lokal

Referens

Försöken utfördes 1998 under ledning av Haukur Ingasson, Sveriges provnings- och forskningsinstitut i Borås och Ronny Fallberg, Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund. Försöken utfördes vid SP och följande redogörelse bygger på personlig kommunikation.

Branden

Brandscenariot utgjordes av ett bål med två travar med lastpallar och några madrasser i ett större rum, $10.0 \cdot 10.0 \text{ m}^2$ och med 6.0 m i takhöjd. En dörröppning med bredden 1.43 m och höjden 2.52 m fanns till brandrummet. Dessutom fanns takventilation, som dock inte användes vid de delar av försöksserien som redovisas här. Brandrummet var byggt inne i en hall, med en huv som samlade ihop brandgaserna som strömmade ut från brandrummets öppning.



Figur 18. Plan över brandrummet. Den streckade linjen markerar rökdykarnas inträngningsväg och stjärnorna anger deras position vid släckangreppen.

Bränslet bestod av 12 lastpallar och 4 skumplastmadrasser placerade på en vågplattform i brandrummet. Lastpallarna hade måtten $1.2 \cdot 1.2 \text{ m}^2$ och var fördelade på två staplar. Mellan staplarna stod fyra skumplastmadrasser på långkant. Skumplastblocket hade längden 2 m och bredden 0.4 m (=avståndet mellan lastpallsstaplarna). Mängden trä var lika vid de olika försöken, ca 150 kg, trots att lastpallarna inte var standardiserade. Bränsleytan uppskattas till ca 35 m^2 .

Släckinsatsen

Släckinsatsen påbörjades då en simulerad sprinklerbulb utlöste, vid temperaturen $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Bulben var placerad strax under taket i inre delen av brandrummet, åt ena sidan. Rökdykarnas angrepp skedde först genom ett par duschar upp i brandgaslagret, följt av en förflyttning in i brandrummet. Branden släcktes sedan genom ett direkt angrepp från nära håll.

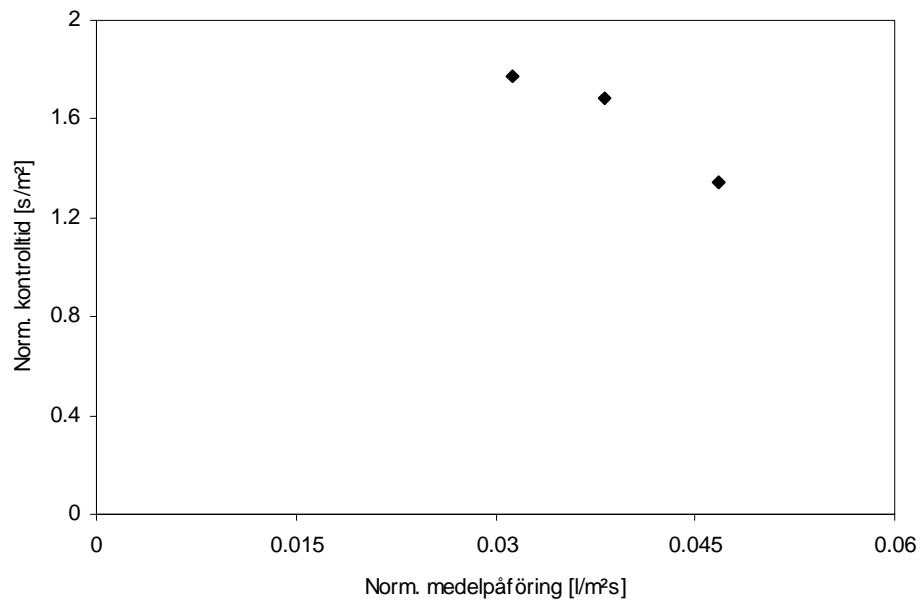
Ett Akron lågtrycksstrålrör med varierbart flöde användes. Vid de tre försök som redovisas här gjordes en likadan insats, men med olika släckvattenflöden.

Resultat

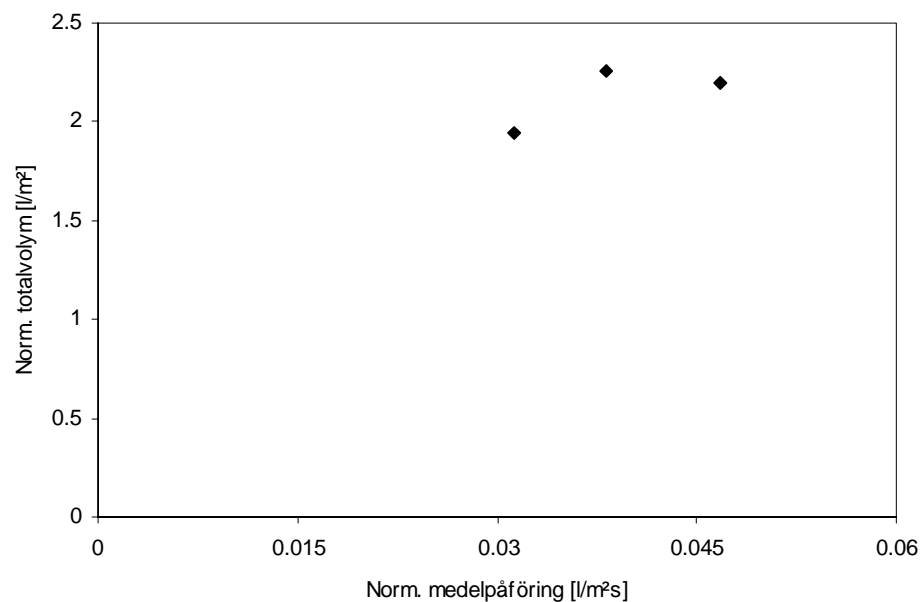
I Tabell 13 och i de efterföljande diagrammen sammanfattas resultaten från tre av försöken i experimentserien.

Tabell 13. Resultat från släckförsöken.

Försök nr	Nominellt flöde [l/s]	Kontrolltid [s]	Totalvolym [l]	Norm. flöde [l/m ² s]	Norm. volym [l/m ²]	Norm. tid [s/m ²]
F2	2.5	47	77	0.047	2.2	1.3
F6	1.25	62	68	0.031	1.9	1.8
F7	1.5	59	79	0.038	2.3	1.7



Figur 19. Kontrolltiden som funktion av medelpåföringen, båda normerade mot bränsleytan.



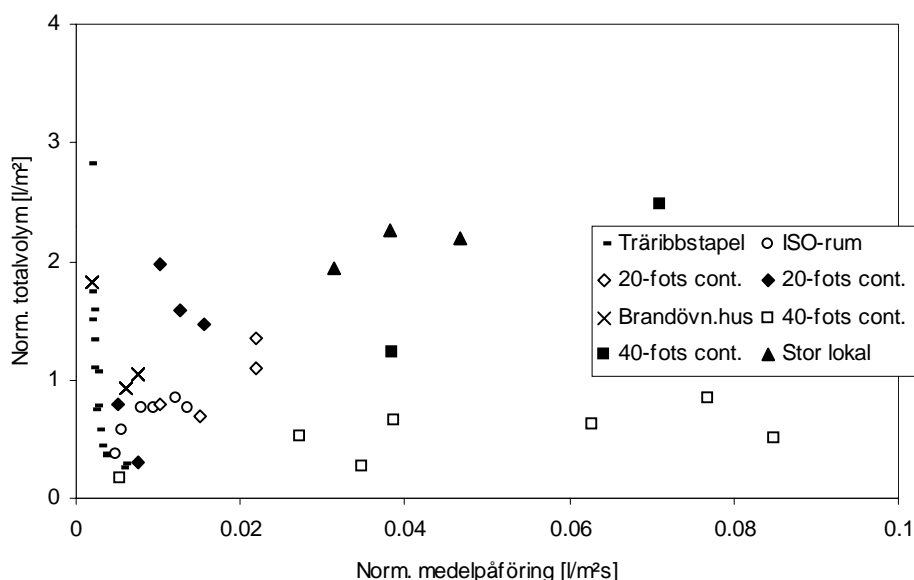
Figur 20. Totalvolymen som funktion av medelpåföringen för brandförsök i en större lokal.

3 Diskussion

3.1 Optimering av släckmedelsflöde

Orsaken till den långa redogörelsen av olika serier av släckförsök är för att kunna jämföra hur släckprocessen påverkas av vattenpåföringshastigheten och droppstorleken. Det kan göras genom att de olika försöksseriernas resultat normeras mot brandens storlek, här i form av bränsleytan. Framför allt är det hur den totala volymen släckvatten och kontrolltiden påverkas av släckvattenflödet som är av intresse.

Hur den totala volymen använt släckvatten beror av den genomsnittliga påföringen visas i Figur 21. Här sammanfattas resultaten från de olika försöksserier som presenterats tidigare i rapporten. Släckförsök med små vattendroppar (mindre än 0.5 mm i diameter) har ofyllda markeringar och försök med större vattendroppar (större än 0.5 mm i diameter)



Figur 21. Den totala vattenmängden för kontroll av branden som funktion av medelpåföringen för samtliga redovisade experiment. Ofyllda markeringar anger små droppar och fyllda markeringar anger stora droppar.

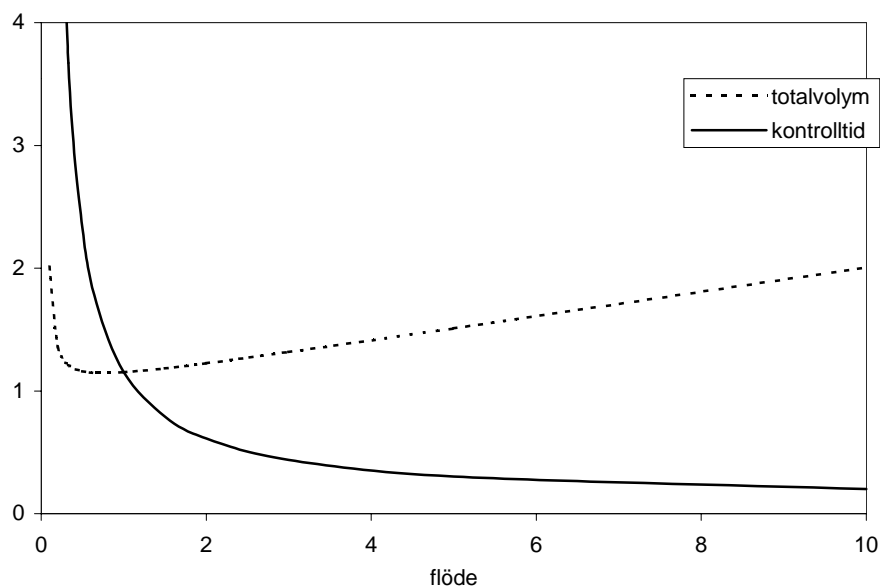
En slutsats av jämförelsen mellan de olika försöksserierna är att det finns en minsta medelpåföring för att släckning skall kunna ske. Vid detta flöde går kontrolltiden mot oändligheten. För de studerade scenarierna är den minsta påföringshastigheten i storleksordningen 0.002 l/m²s. Under detta flöde släcks inte branden, möjligen kan branden förhindras att sprida sig till utsatta objekt. Är vattenflödet otillräckligt för att faktiskt släcka branden, förlängs bara tiden för den att brinna ut. Branden fördröjs i detta fall tills dess bränslemängden minskat så mycket att släckning är möjlig.

Ett diagram över den totala vattenförbrukningen som funktion av vattenflödet får ett utseende i form av en fiskkrok. Det finns alltså en lägsta punkt som anger den minsta totalvolymen, och därmed det bästa resursutnyttjandet. För de aktuella scenarierna ligger

denna minimipunkt på ca $0.2 - 0.8 \text{ l/m}^2$. Att försöken i 20-fotscontainern ger större volym än de andra försöken, kan förklaras av att de var de enda försöken i sammanställningen där ett fast munstycke användes. Vid alla andra försök användes rörliga munstycken och därmed nåddes en bättre fördelning av vattnet över bränsleytorna.

Den lägsta punkten på kurvan, ca $0.01 \text{ l/m}^2\text{s}$, motsvaras av en medelpåföring som alltså är den optimala. Med en mindre påföring kommer det att ta så lång tid att släcka branden att totalvolymen ökar. Med en större påföring går släckinsatsen snabbare. Den går dock inte tillräckligt mycket snabbare för att väga upp ökningen hos den totala volymen vatten utan ger en överkill som exempelvis kan resultera i vattenskadorna.

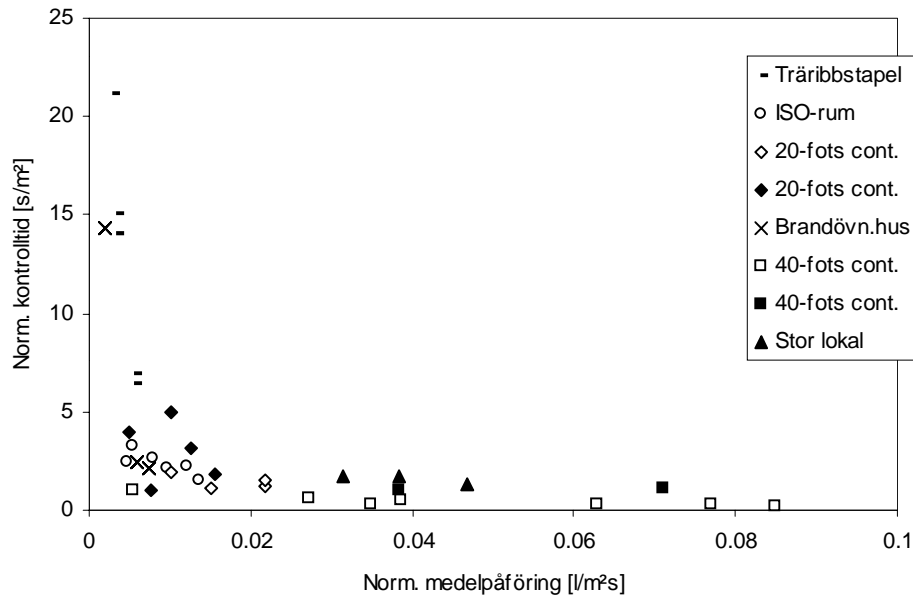
Det principiella utseendet av kontrolltiden ritad mot flödet visas i Figur 22. Kurvan går åt ena hållet asymptotiskt mot ett minsta flöde och åt det andra mot en minsta kontrolltid. I diagrammet har också kurvan för den totala volymen ritats in. Den har erhållits genom att multiplicera kontrolltid och flöde. På grund av att kontrolltiden inte går mot noll med ökande flödet, kommer totalvolymen att få ett minimum och öka med ökande flöde. Utseendet på dessa funktioner kan vara bra att ha i minnet.



Figur 22. Det principiella utseendet av kurvorna för totalvolymen och kontrolltiden ritade mot flödet.

3.2 Optimering av kontrolltid

I Figur 23 visas hur kontrolltiden, normerad mot bränsleytan, varierar med den genomsnittliga vattenpåföringen vid de olika experimenten. Det optimala släckvattenflödet motsvaras av en optimal kontrolltid, vilken visar sig bli relativt kort. Vid de studerade experimenten var den optimala kontrolltiden $1 - 3 \text{ s/m}^2$. Det bästa resursutnyttjandet ges alltså om branden slås ned snabbt, för bränder av experimentens storlek, på högst någon minut. Även här anger ofyllda markeringar små droppar och fyllda markeringar anger stora droppar.



Figur 23. Kontrolltiden som funktion av medelpåföringen. Observera att skalan för kontrolltid är stympad och att försöken med träribbstaplar gav långa tider, se Figur 3. Ofyllda markeringar anger små droppar och fyllda markeringar anger stora droppar.

3.3 Avståndsberoende

Beroende bland annat på strålens kastlängd och droppstorleksfördelning har olika strålrör ett optimalt avstånd från branden. Ökat avstånd kräver en längre kastlängd och med ökad kastlängd förändras strålbilden radikalt. Om strålen idealiseras med en kon och gravitationen försummas, kan medelflödet [l/m^2s] genom strålens tvärsnitt uppskattas med enkel geometri:

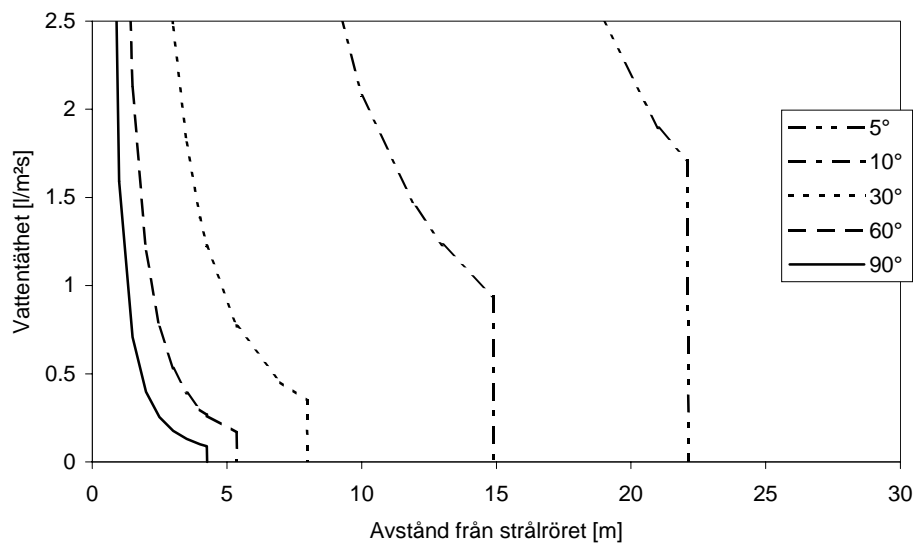
$$v''_{\text{medel}} = \frac{v}{\pi(L \cdot \tan \alpha / 2)^2}$$

där v [l/s] är vattenflödet ur strålröret, L [m] är avståndet från strålröret och α [$^\circ$] är konvinkeln. Detta är ett mycket förenklat antagande, men det fyller ändå sitt syfte. Av beräkningen framgår nämligen att medelflödet blir omvänt proportionellt med kvadraten på avståndet från strålröret. Kastlängden för ett strålrör påverkas emellertid kraftigt av konvinkeln. För normala strålrör ges kastlängden L [m] som funktion av konvinkeln approximativt av [HMSO, 1955]:

$$L = \frac{18 \cdot v^{0.36} \cdot P^{0.28}}{\alpha^{0.57}}$$

där P [bar] är munstyckstrycket. Uttrycket har här räknats om till SI-enheter. Det gäller enligt referensen endast för $30^\circ < \alpha < 90^\circ$, men används av illustrativa skäl här även för mindre konvinklar.

I Figur 24 visas en uppskattning av medelflödet på olika avstånd för ett strålrör som ger $5 l/s$ vid några olika konvinklar. Strålarnas kastlängd har lagts in som begränsning i figuren.



Figur 24. Teoretisk vattentäthet beroende på avstånd från strålröret och konvinkel för ett strålrör som ger 5 l/s vid 7 bars tryck. En konvinkel om 60° ger till exempel en ungefärlig kastlängd om 5 m med vattentätheten 0.2 l/m²s.

Vid små avstånd mellan strålröret och branden blir vattentätheten mångfalt större än den som krävs för släckning. I förra avsnittet visades att det optimala släckvattenflödet är i storleksordningen 0.01 l/m²s. Detta är räknat per bränsleyta. Med en relation mellan bränsleyta och strålens tvärsnitt på 1:10 blir medelflödet 0.1 l/m²s, vilket då är högt räknat. Med konvinkeln 60° krävs mer än fem meters avstånd, vilket är ungefär samma som strålens kastlängd, för att vattentätheten skall bli 0.1 l/m²s. Minskas konvinkeln, ökar avståndet till det optimala medelflödet och strålen behöver inte slutas mer än till ungefär 60°, innan kastlängden kommer in som en begränsande faktor. Ju mer strålen sluts, desto högre blir alltså vattentätheten, samtidigt som täckningsytan minskar.

Om avståndet mellan strålröret och branden är långt, måste ett strålrör med ett stort flöde och liten konvinkel väljas, för att kastlängden skall bli den önskade. Detta innebär samtidigt att medelpåföringen blir hög där strålen träffar och att strålen måste ges ett våldsamt rörelsemönster för att samtidigt kunna täcka in den stora yta som vattenflödet möjliggör. Där strålen träffar är den kraftigt överdimensionerad, samtidigt som den i praktiken inte förmår täcka in särskilt stor yta. En sluten stråle är alltså överdimensionerad med en faktor 50-100 där den träffar branden och innebär ett ineffektivt utnyttjande av vattnets släckkapacitet.

3.4 Förslag till fortsatta insatser

De studerade experimenten visar sig ge resultat som stämmer överens sinsemellan, detta trots att brandscenarierna är olika. Det experimenten har gemensamt är framför allt att bränslet är lika i samtliga försök, trämaterial antingen som träribbstaplar eller som ytskikt.

Vad som däremot kan konstateras är att experimenten är i samma storleksordning och relativt små jämfört med kapaciteten hos räddningstjänstens normala utrustning. Om räddningstjänstens utrustning används, är den alltså överdimensionerad för försöks-scenarierna. För att undersöka begränsningarna hos räddningstjänstens utrustning krävs försök i större skala, där inte släckutrustningen med självklarhet är överlägsen branden. Tyvärr finns idag inga sådana vetenskapliga experiment där brandens storlek står i rimlig proportion till räddningstjänstens kapacitet. Därför har en försöksserie i större skala initierats, som kommer att genomföras vid Stockholms brandförsvars anläggning i Ågesta.

4 Referenser

Andersson, Petra och Holmstedt, Göran, *Journal of Fire Protection Engineering*, "Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent", 9 (4) 1999, sid 31-50.

Bengtsson, Lars Göran och Lundin, Johan, *Fire Demand Model, resultat av fullskaleförsök i container*, Räddningsverket R53-116/95, 1995.

Bengtsson, Lars Göran och Lundin, Johan, *Utvärdering av Fire Demand Model, och utveckling av släckteknik och släckmetod*, Räddningsverket R53-117/95, 1995.

Bryan, J. och Smith, D.N., *Engineering*, "The effect of chemicals in water solution on fire extinction", nr 8, June 1945, sid 457-460, 497-500.

Delichatsios, Michael A., och Delichatsios, Mary, M., "Critical Mass Pyrolysis Rates for Extinction of Fires over Solid Materials", *Fire Safety Science, Proceedings of the fifth international symposium*, ed. Hasemi, Y., International Association for Fire Safety Science, 1997, sid 153-164.

Dunn, Michael J., *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Unshielded Fires*. School of Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 98/2, 1998.

Gravestock, Neil, *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Shielded Fires*. School of Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 98/3, 1998.

HMSO, *Fire Research 1955, Report of the Fire Research Board with the report of the director of fire research for the year 1955*, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices' Committee, Her Majesty's Stationary Office, London, 1955, sid 38-39.

Ingasson, Haukur, Sveriges provnings- och forskningsinstitut, Borås, Personlig kommunikation, 1998.

Lundström, Sören och Svensson, Stefan, *Försök med högtrycksbrandsläckning*, Räddningsverket, P21-196/97, 1997.

Rimen, J.G., *The Use of High Pressure and Low Pressure Pumps With Hosereel Systems*, Central Fire Brigades Advisory Council, Scottish Central Fire Brigades Advisory Council, Joint Committee on Fire Research, Research Report Number 36, 1990.

Svensson, Stefan, Räddningsverket, personlig kommunikation, 1998.