

Therése Göras, Bror Persson,
Magnus Arvidsson, Lars Boström

Sektionering av stora lokaler

Therése Göras, Bror Persson,
Magnus Arvidsson, Lars Boström

Sektionering av stora lokaler

Abstract

The objective of the project was to investigate the performance of flexible sectioning with a water sprinkling system. Different types of flexible sectioning such as fire curtains and jalousies were experimentally studied. The experiments carried out was focused on finding the minimum amount of water needed in order to keep the radiation level obtained at the unexposed face of the section on an acceptable level.

Two different experimental set-ups were used. In the first set-up a container with the dimensions (width x height) 2,2 m x 5,2 m was used as a furnace. The advantage with the container was the height that could be obtained. The other set-up was a conventional fire test furnace with the dimensions (width x height) 3,0 m x 3,0 m. In both test set-ups the temperature was kept constant at different levels, and the amount of water applied to the sectioning was varied.

The experimental results showed that a relatively small amount of water gave a significantly better performance of the flexible sectioning when considering the radiation levels.

A mathematical model has been developed with which the needed amount of water can be calculated. The model was calibrated to experiments made with steel plates and curtains mounted on a provisional container furnace, and later verified on the tests made with a conventional fire test furnace.

Key words: sectioning, water sprinkling, fire curtain, fire jalousie, test method, calculation

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2001:09
ISBN 91-7848-852-4
ISSN 0284-5172
Borås 2001

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2001:09
Postal address:
Box 857, SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se
Internet: www.sp.se

Innehållsförteckning

Abstract	2
Innehållsförteckning	3
Förord	4
Sammanfattning	5
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Målsättning	8
1.3 Avgränsningar	8
1.4 Begränsningar för användning av försöksresultaten	8
2 Experimentell studie	10
2.1 Provuppställning	10
2.1.1 Provuppställning vid containerförsök	10
2.1.2 Provuppställning vid ugnsförsök	11
2.2 Provade material	12
2.2.1 Provade material vid containerförsök	12
2.2.2 Provade material vid ugnsförsök	12
2.3 Brandscenario	12
2.3.1 Brandscenario vid containerförsök	12
2.3.2 Brandscenario vid ugnsförsök	12
2.4 Vattenbegjutning	13
2.4.1 Vattenbegjutning vid containerförsök	13
2.4.2 Vattenbegjutning vid ugnsförsök	14
3 Resultat från experimenten	15
3.1 Containerförsök	15
3.1.1 Försök med stålplåt	15
3.1.2 Försök med brandgardin	16
3.2 Ugnsförsök	16
3.2.1 Vattenhastighet	16
3.2.2 Strålning	16
3.2.3 Temperatur på icke brandutsatt sida	19
3.3 Diskussion kring försöken	21
4 Beräkningar	23
4.1 Försök med skiljeväg av stålplåt	23
4.2 Försök med brandgardin som skiljeväg	25
5 Diskussion och slutsatser	27
6 Referenser	28
Appendix A - Försöksdata	29
Appendix B - Beräkningsmodell	32

Förord

Detta projekt har finansierats av BRANDFORSK (Styrelsen för svensk Brandforskning) och är en fortsättning på två tidigare projekt vilka finns avrapporterade i SP-rapport 1987:30 och 1991:28. Projektet har genomförts vid SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Till projektet har en referensgrupp funnits knuten bestående av följande personer:

Yngve Håkansson	Berdén Scandinavia AB
Susanne Hessler	BRANDFORSK
Tomas Rantatalo	Fire Safety Nordic
Lars-Erik Thörnqvist	Fortifikationsverket
Hans Visser	Previs Brandskydd AB
Bengt-Åke Flöner	MIT AB
Leif Beisland	Sveriges Försäkringsförbund
Hans-Eric Zetterström	Sveriges Försäkringsförbund
Ola Åkesson	Statens Räddningsverk
Lars Hellsten	Scania Partner AB
Lennart Åberg	VVS-Installatörerna
Therése Göras	Bengt Dahlgren AB
Magnus Arvidsson	SP
Bror Persson	SP
Lars Boström	SP

I projektet har förutom författarna även Tomas Hermodsson, Bengt-Olof Bengtsson, Torbjörn Persson och Helen Bro aktivt medverkat under olika perioder.

Sammanfattning

Ofta är det byggnadstekniskt och produktionsmässigt ekonomiskt attraktivt att använda stora, ej sektionerade produktions- och lagerlokaler. Dessa är dock mindre lämpliga med avseende på brand, då riskerna är större för en totalskada med stora skade- och avbrottskostnader. Med en flexibel sektionering kan för dessa lokaler brandskyddet förbättras avsevärt. Det finns en rad olika tekniska lösningar på flexibel sektionering med exempelvis brandgardiner eller jalousier. Dessa produkter ger en viss avskiljande förmåga men de har en dålig isoleringsförmåga varför värmestrålningen kan bli mycket hög på den icke brandutsatta sidan. Detta projekt har fokuserat på en förbättring av flexibla sektioneringar genom att vattenbegjuta dessa och på så sätt förbättra deras brandavskiljande förmåga.

Olika typer av konstruktioner har provats experimentellt i två olika typer av ugnar. En speciell ugn utvecklades för att kunna prova höga konstruktioner. Till detta användes en container som ställdes på kant vilket gav en ugn där man kunde prova konstruktioner med dimension (bredd x höjd) 2,2 m x 5,2 m. Den andra ugnen var en konventionell brandprovningssugn där man kan prova konstruktioner med dimension (bredd x höjd) 3,0 m x 3,0 m.

Brandgardin, vanlig stålplåt samt ett ståljalusi har provats. Man har valt att arbeta med lägre temperaturer än de som används vid standardiserad brandprovning då temperaturerna i praktiken normalt sett är lägre vid brand i den typ av lokaler där flexibel sektionering är av intresse, t.ex. industrilokaler. Vid provningarna har provföremålen begjutits med en vattenfilm. Mängden vatten har varierats för att på så sätt hitta den minsta acceptabla mängden för att sektioneringen skall fungera tillfredsställande, framför allt med avseende på värmestrålningsnivån på den icke brandutsatta sidan. Vid experimenten har en rad olika mätningar gjorts som exempelvis temperatur på provföremålet, strålning på olika höjder, vattenmängd och vattenhastighet. Resultaten från provningarna skall inte användas för en brandklassificering i traditionell bemärkelse utan finnas som en grund vid dimensionering av flexibla sektioneringar med vattenbegjutning.

Förutom den experimentella studien har även en beräkningsmodell utvecklats. Med beräkningsmodellen kan man bestämma vilken vattenmängd som krävs för olika scenarier. Denna modell kan vara användbar vid dimensionering av flexibla sektioneringar med vattenbegjutning.

Slutsatserna från projektet är att man med ett mycket litet vattenflöde, jämfört med konventionell sprinkling, avsevärt kan förbättra den avskiljande förmågan hos flexibla sektioneringar. Med så låga vattenmängder som 1,5 liter per minut och m^2 sektionering får man acceptabla nivåer på värmestrålningen hos de provade materialen. Med hjälp av den beräkningsmodell som utvecklats kan man på ett effektivt sätt dimensionera den vattenbegjutning som är nödvändig för olika sektioneringar.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Inom industrin förekommer allmänt mycket stora ej sektionerade produktions- och lagerlokaler då detta både byggnadstekniskt och produktionsmässigt är ekonomiskt mest attraktivt. Ur brandskyddssynpunkt är detta givetvis en stor nackdel då riskerna för en totalskada ökar med mycket stora skade- och avbrottskostnader som följd. Även mindre och till ytan begränsade bränder kan orsaka kännbara och allvarliga problem på grund av rök- och brandgasspridning inom hela lokalen vilket kan leda till omfattande skador på inredning, varulager och utrustning t.ex. på den elektronik och de datorer som ofta förekommer i modern produktionsutrustning. Efterföljande reparationer och saneringsarbete blir självfallet också mer omfattande då stora ytor blir påverkade än om skadeverkningarna kan hållas inom en väl avgränsad enhet. Med detta ser man att potentialen för sektionering med flexibla konstruktioner är stor.

Möjligheterna till att utveckla tekniska lösningar som avsevärt förbättrar brandskyddet till en rimlig kostnad har varit en ständigt återkommande frågeställning. Som alternativ till permanenta och konventionella brandavskiljande väggar, dörrar och portar har diskuterats låtta, enkla och flexibla konstruktioner, som i normalfallet inte stjälar något utrymme av lokalen och begränsar produktionsflöden, men som i ett nödläge snabbt kan aktiveras och i kombination med vattenkylning ge ett fullgott brandskydd. I Brandforsks regi har två mindre projekt genomförts på SP [1-2] för att utvärdera möjligheterna och potentialen i en sådan teknik. De båda projekten, som innehöll både teoretiska och experimentella delar, visade på goda förutsättningar för att utveckla material och konstruktioner som i kombination med vattenbegjutning skulle motsvara kraven på brandskydd, flexibilitet och kostnadseffektivitet. Det experimentella underlaget var emellertid alltför begränsat för att kunna ge direkta tillämpbara data för dimensionering av verkliga konstruktioner. Vidare så omfattade inte heller projekten förslag till utvärderingsmetod och möjlighet till beräkningar.

Vid det tidigare utförda projektet, [2], var vattenflödet betydligt högre än i nuvarande projekt. Vattenflödet varierades då från $2 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ upp till $20 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ på en konstruktion med måtten (bredd x höjd) $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$. En av slutsatserna som gjordes var att en grövre ytstruktur inte medförde att mängden förångat vatten ökade men däremot ökade temperaturen på det avrunna vattnet. Vattenpåföringen utfördes dels med sprinklerdysor och dels med ett perforerat rör vid försöken. Studien visade att sprinklerdysorna gav en betydligt effektivare kylning.

I det andra projektet [1] genomfördes en undersökning av hur väggtemperaturen innan vattenbegjutningen startas påverkar resultatet. Den visade att när temperaturen på en metall överskrider den s.k. Leidenfrost temperaturen blir vattenkylning ineffektiv. Det blir alltså svårt att "blöta" ner metallytan. För metaller och vatten är Leidenfrost temperaturen ca 300°C . Detta indikerar att det är fördelaktigt att på ett tidigt stadium aktivera vattenbegjutningen innan temperaturen hunnit bli alltför hög.

Det finns på marknaden i dag ett antal flexibla konstruktioner, exempelvis olika brandgardiner, vilka ensamma har ett visst brandmotstånd men som inte klarar att sänka temperaturen så mycket att en isolerande avskiljning erhålls, d.v.s. de klarar endast brandteknisk klass E. Om man däremot vattenbegjuter en sådan flexibel konstruktion blir strålningsnivån på den icke brandexponerade sidan acceptabel redan vid små vattenflöden och man förhindrar en spridning av branden genom att brännbart material på den icke brandutsatta sidan inte antänds. Små vattenflöden medför dock att torra heta fält kan bildas om vattenfilmen inte täcker hela väggytan men om strålningsnivån trots det kan hållas på en rimlig nivå har det inte någon avgörande betydelse utan det kan accepteras.

En flexibel sektionering med vattenbegjutning kan inte direkt jämföras med exempelvis en EI30 vägg, däremot tillgodogör man sig de positiva effekterna i form av ett ökat egendomsskydd

samt även förbättrad personsäkerhet. Att sektionera en lokal utöver de krav som ställs i bygglagstiftningen kan även vara ett sätt att minska försäkringspremierna.

1.2 Målsättning

Målsättningen med föreliggande projekt har varit att undersöka några flexibla konstruktioner och se hur dessa skall vattenbegjutas för att ett acceptabelt brandskydd skall uppnås. Vidare har målet varit att ta fram en beräkningsmodell med vilken man kan beräkna de vattenflöden som krävs för få ett acceptabelt brandskydd.

1.3 Avgränsningar

I projektet har inte gjorts några studier på rökspridning i lokalerna med den här typen av system eftersom varje byggnads specifika förutsättningar för att hindra rökspridning är väldigt individuella. Aktiveringen av systemet vad gäller både sprinkler och aktivering för att rulla ner t.ex. en brandgardin när brandlarmet löser ut har heller inte studerats.

Problemet med rör och kabeldragningar samt interna transportsystem för produkter och material (conveyers) som passerar genom de begränsningar som utgörs av de flexibla konstruktionerna vid aktivering behandlas inte i projektet eftersom det är specifikt för varje enskilt objekt och måste lösas på plats.

Brandbelastningen vid försöken är vald utifrån situationen i industrilokaler, även resonemanget i andra delar av rapporten utgår från situationen i industrilokaler. Flexibel sektionering kan användas i stora lokaler även med andra typer av verksamhet. Tänkbart brandscenario ska dock anpassas efter verksamhetens art. I vissa typer av industriella produktionslokaler är brandbelastningen många gånger inte så stor. Därför valde man i detta projekt att inte använda den s.k. standardbrandkurvan vid försöken då man ansåg att den gav en för hög brandpåverkan.

Vid försöken applicerades vattnet endast på den icke brandutsatta sidan. Att vattenbegjuta den brandexponerade sidan ger många osäkerhetsfaktorer och resultaten blir svårtolkade. Det är även svårt att följa händelseförloppet under brandförsöken och därför passar det inte i ett forskningsprojekt. Om scenariot att brandbelastning och vattenbegjutning uppstår på samma sida av konstruktionen förväntas sektioneringen fungera lika bra eller bättre då vattenbegjutning på den icke brandutsatta sidan anses utgöra det svåraste fallet. Man kan även tänka sig att införa krav att potentiella brandkällor på den icke sprinklade sidan placeras på så stort avstånd från skiljeväggen att direktpåverkan från flammor ej kan uppkomma.

Vid de försök som genomförts har dimensionen hos sektioneringen varit begränsad då det inte varit möjligt att genomföra fullskaleförsök. Experimenten har gjorts på provföremål med dimension (bredd x höjd) 2,2 m x 5,2 m samt 3,0 m x 3,0 m.

1.4 Begränsningar för användning av försöksresultaten

Redovisade resultat är applicerbara för konstruktioner upp till 5 meters höjd. För att systemet ska fungera tillfredsställande bör vattenflödet anpassas till konstruktionens aktuella höjd så att en tillräckligt täckande vattenfilm kan erhållas. Därigenom kan ett godtagbart brandskydd erhållas. För högre höjder än 5 meter måste en ny undersökning utföras om det tänkta brandskyddet ska kunna tillgodose. Hänsyn ska även tas till aktuell brandbelastning.

De flexibla konstruktioner som är aktuella för vattenbegjutning bör uppfylla E-klass för att säkerställa integriteten under angiven tidsperiod. En E-klass medför dock att branden

fortfarande kan spridas till andra sidan konstruktionen p.g.a. de höga strålningsnivåer som kan uppstå. Vattenbegjutningen bidrar till att sänka strålningsnivån så att brännbart material inte antänds på andra sidan av konstruktionen.

Den modell som tagits fram för att beräkna nödvändiga vattenflöden förutsätter att ytan är någorlunda slät så att en kontinuerlig vattenfilm kan bildas.

2 Experimentell studie

2.1 Provuppställning

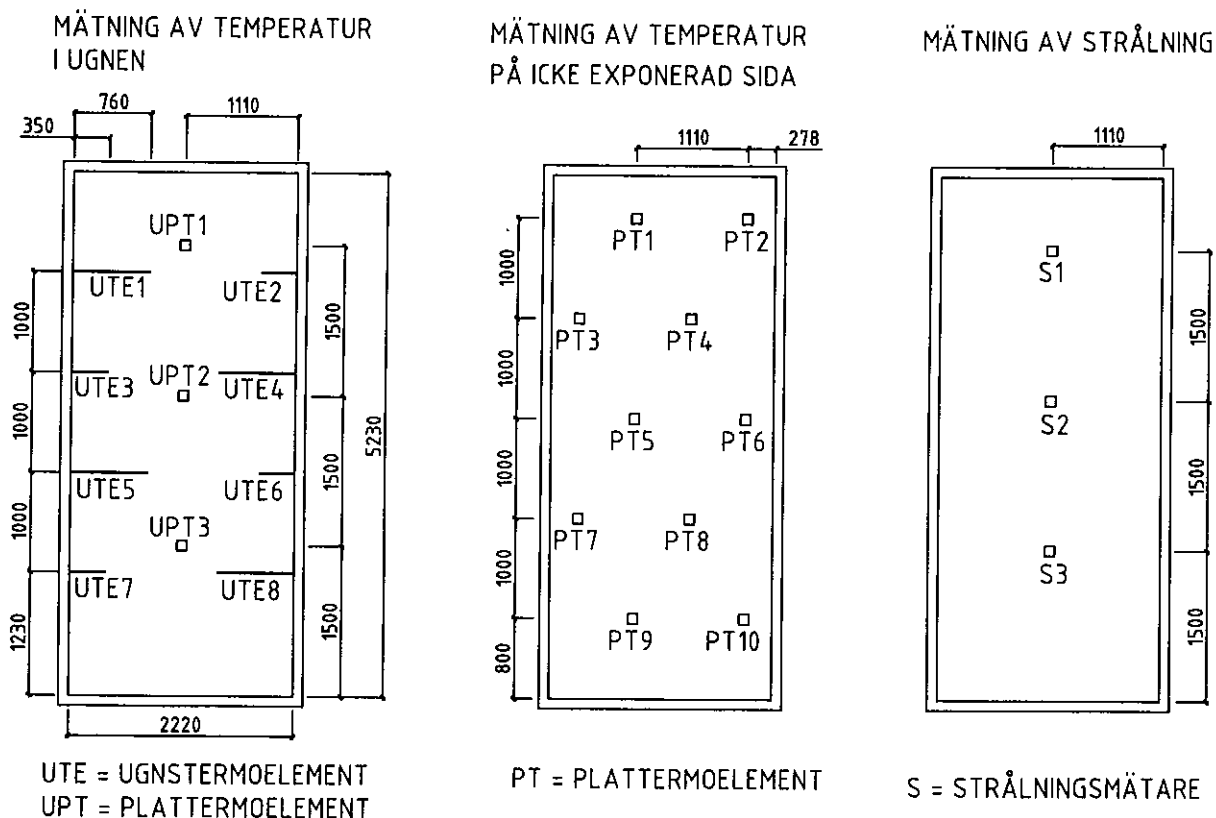
2.1.1 Provuppställning vid containerförsök

Till försöken har en enkel brandprovningssugn konstruerats och byggts upp. Den består av en på högkant ställd transportcontainer, av korrugerad plåt, så att en öppning om ca (bredd x höjd) 2,2 m x 5,2 m erhålls för montage av provkroppen. Containerugnen ska inte liknas vid en standardiserad brandprovningssugn (enligt provningsmetod ISO 834) utan den är specialkonstruerad för projektet. Den standardiserade brandprovningssugnen har dimensionerna (bredd x höjd) 3 m x 3 m. Behovet att konstruera en speciell containerugn beror till största delen på att högre höjder än 3 m är av intresse då sektionering är tänkt att användas i industrilokaler med hög takhöjd.

Brandeffekt och vattenflöde varierar under försöken. Det vatten som inte förångas på den varma ytan samlas upp i en ränna vid provföremålets bas. Mängden vatten och vattentemperatur mäts, vilket tillsammans med bl.a. uppmätt yttemperatur på provföremålet utgör indata för beräkningar av vattenbegjutningens effektivitet.

Brännaren var utformad enligt "room corner" metoden d.v.s. provningsmetod ISO 9705, förutom att röret till brännaren hade dimensionen ½ "(halvtum) istället för vad metoden föreskriver. Brännaren består av en plåtlåda fylld med sand för att fördela flammen. Containern värmdes upp med gasol.

Längs underkanten av containerväggen (botten) mittemot öppningen fanns håltagningar för gasbrännaren samt håltagning för ventilation. Det fanns även 4 hål i taket av containern.



Figur 2.1 Instrumentering vid provning med container.

Vid försöken gjordes följande mätningar:

- Yttemperaturen på provföremålets oexponerade sida (stålplåt / brandgardin) mättes med 10 termoelement
- Temperaturen mättes 1 m framför provföremålet med 10 plattermoelement
- 3 strålningsmätare var placerade 1 m framför provföremålet
- Inuti containern mättes temperaturen med 8 ugnstermoelement (\varnothing 1 mm)
- Inuti containern mättes temperaturen även med 3 plattermoelement
- Temperaturen på vattnet mättes före och efter vattenbegjutningen
- Vattenflödet till sprinklerdysorna registrerades
- Vid försöken med brandgardin var två plattermoelement placerade i ett skärmtak i ovankant av provuppställningen

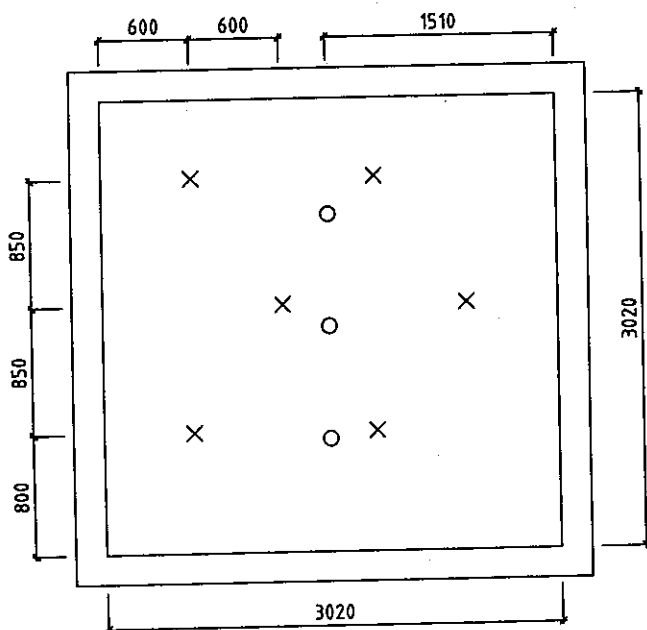
Placering av mätinstrumenten framgår av figur 2.1.

2.1.2 Provuppställning vid ugnsförsök

Proven gjordes i en brandprovningssugn med öppningsmåtten 3 m x 3 m. I ugnen hade man vid proven en konstant temperatur vilken var lika över hela provföremålets brandutsatta yta. I ugnen styrdes trycket på så sätt att på en meters höjd var det samma tryck som utanför ugnen. Trycket i ugnen varierar sedan med cirka 8 Pa per meter, d.v.s. vid golvnivå var trycket -8 Pa och i ovankant av provföremålet var trycket cirka 16 Pa.

På den ej brandutsatta sidan uppmättes strålningen med tre strålningsgivare placerade centriskt men vid olika höjd. Givarna placerades i fjärdedelspunkterna, d.v.s. 750, 1500 och 2250 mm från underkant och med avståndet 1 m från provföremålet, se figur 2.2. Temperatur på den icke brandutsatta sidan mättes med 6 plattermoelement monterade 1 m från provföremålet. Plattermoelementens fördelning över ytan framgår av figur 2.2.

Ugnstemperaturen mättes med tre plattermoelement och 6 konventionella ugnstermoelement. Placeringen av dessa överensstämmer med placeringen av strålningsgivare och plattermoelement på den icke brandutsatta sidan.



Figur 2.2 Instrumentering vid prov i ugn.

Brandexponerad sida: x = ugnstermoelement och o = plattermoelement.

Icke brandexponerad sida: x = plattermoelement och o = strålningsmätare

2.2 Provade material

2.2.1 Provade material vid containerförsök

Två olika material provades i containerugnen, en stålplåt och en brandgardin. Den första försöksserien utfördes med en stålplåt med godstjockleken 4 mm. Valet att prova en plåt beror på intentionen att kunna skapa en beräkningsmodell där erforderliga vattenflöden kan beräknas utifrån känd brandbelastning.

Brandgardinen, som användes i den andra försöksserien, är ett typiskt exempel på en flexibel konstruktion som är aktuell för den här typen av sektionering. Den används även utan vattenbegjutning och kan ensam skärma av en brand till viss del men med vattenbegjutning blir temperaturen och strålningsnivån på den icke brandutsatta sidan betydligt lägre.

Brandgardinen var betecknad Fibershield med vikten 1000 g/m². Den består av ett glasfiberlaminat förstärkt med invävd ståltråd. Brandgardinen har en relativt slät ytstruktur.

2.2.2 Provade material vid ugnsförsök

Två olika material provades i ugn, en brandgardin samt ett ståljalusi. Brandgardinen, av fabrikat Previs, spändes in i en betongram med öppningsmått 3020 mm x 3020 mm. Samma typ av brandgardin användes vid försök i ugnen och containern.

Jalusin monterades med styrskenor längs sidorna. Skenorna skruvades fast i betongramen på båda sidor. Jalusiens ovankant skruvades fast i ramens ovankant. I underkant fick jalusien hänga ut utanför ramen, för att på så sätt leda vattnet ned i uppsamlingsrännan.

2.3 Brandscenario

2.3.1 Brandscenario vid containerförsök

Då brandbelastningen normalt sett inte är så stor i de industrilokaler där sektionering kan vara aktuell beslöt referensgruppen att inte använda den s.k. standardbrandkurvan enligt provningsmetod ISO 834, vilken vanligtvis används vid provning av brandavskiljande konstruktioner. Temperaturen valdes istället till ca 300-500 °C i containerugnen under plåtförsöken och ca 400-750 °C under brandgardinförsöken.

Har man för avsikt att använda den här typen av sektionering i andra stora lokaler måste hänsyn tas till aktuellt brandscenario i lokalen. Försöksresultaten i rapporten baseras på att brandbelastningen antas vara förhållandevis låg.

2.3.2 Brandscenario vid ugnsförsök

Provningsen utfördes i ett antal steg där ugnstemperatur och vattenflöde till sprinklers varierade. Generellt gällde att i varje steg skulle stationärt tillstånd råda innan man gick till nästa steg. Tabell 2.1 visar de ugnstemperaturer och vattenflöden som provades.

Tabell 2.1 Provade temperaturer och vattenflöden

Temperatur i ugnen	Vattenflöde (l/min · m ²)					
	0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	5,2
515°C	X	X	X	X	X	X
615°C	X	X	X	X	-	-
710°C	X	X	X	X	-	-
810°C	-	-	X	-	-	-

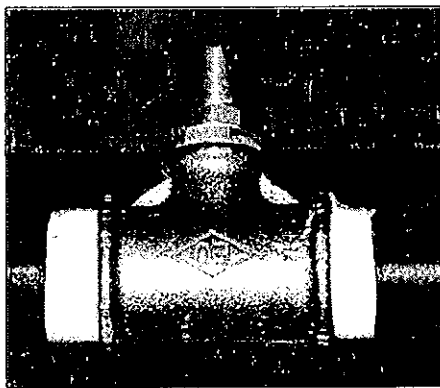
Provingen startade med den lägsta ugnstemperaturen, 515°C. Den första mätningen gjordes utan vatten. Därefter lades det högsta vattenflödet på och en ny mätning genomfördes varefter vattenflödet minskades stegvis ned till det lägsta flödet. Därefter ökades temperaturen till nästa nivå och hela proceduren upprepades. Notera att de två högsta vattenflödena endast användes vid den lägsta temperaturen, samt att vid den högsta temperaturen användes endast ett vattenflöde.

2.4 Vattenbegjutning

2.4.1 Vattenbegjutning vid containerförsök

Målet är att försöka optimera erforderlig vattenmängd vilket minskar risken för vattenskador och sprinklersystemet kan dimensioneras för en lägre kapacitet.

Vattnet applicerades med sprinklerdysor av typen flatstråledysor, se figur 2.3. För att minska spill vid vattenpåföringen monterades en plåt under dysorna så att mer vatten träffade konstruktionen. Påföringshastigheten är en avgörande parameter, vilket medförde att vinkeln på dysorna fick justeras för att ge bästa möjliga effekt.



Figur 2.3 Flatstråledysa.

Vid försöken var sex sprinklerdysor monterade med centrumavstånd 500 mm i ovankant av provföremålet. De yttersta dysorna var placerade 50 mm utanför containern. Dysorna var monterade med ett visst överlapp i spridningsbilden. En del av vattnet från de yttersta dysorna träffade aldrig provföremålet. En korrektion för detta har tagits med vid beräkningen av effektiva vattenflöden.

Under försöken varierades vattenflödet för att se vilken mängd vatten som erfordras för att sänka temperaturen på den oexponerade sidan av konstruktionen till en rimlig nivå och därmed också strålningen. Överblivet vatten samlades upp och därefter uppskattades mängden förångat vatten. Dessa mätningar är dock behäftade med en viss osäkerhet på grund av svårigheten att samla upp allt vatten vid basen av provföremålet.

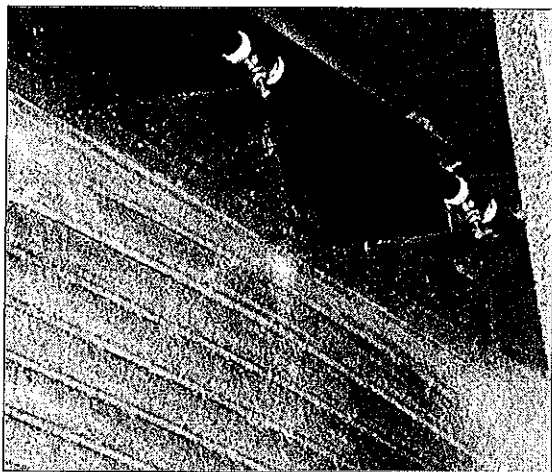
Vid plåtförsöken varierades vattenflödet mellan 1,6 och 3,8 l/min · m². Vid försöken med brandgardin varierades vattenflödet mellan 1,0 och 3,0 l/min · m².

2.4.2 Vattenbegjutning vid ugnsförsök

Sprinklers var monterade i ovankant av provföremålet med ett centrumavstånd på 500 mm. Detta ger totalt 6 sprinklerdysor. Avståndet mellan provföremålet och dysorna var 170 mm. Dysorna var monterade på ett rör till vilket vatten var kopplat. Vattenflödet till dysorna mättes med en flödesgivare. 25 mm under dysorna fanns, vid prov av brandgardin, en vinklad plåt monterad för att allt vatten skulle träffa gardinen, och därmed minska spillet. Plåten vinklades nedåt och nådde fram till ca 30 mm från brandgardinen. Vid prov med jalusi användes inte denna plåt.

I underkant monterades, längs med ramen, en ränna i vilken allt vatten samlades upp och fick rinna ut vid sidan av ugnen i ett uppsamlingskar. Uppsamlingskaret var placerat på en våg så att viktökningen kunde mätas. Vidare fanns i rännan ett termoelement med syfte att mäta temperaturen på det uppsamlade vattnet.

Figur 2.4 visar hur vattenbegjutningen gjorts med sprinkler.



Figur 2.4 Vattenbegjutning med sprinkler.

3 Resultat från experimenten

3.1 Containerförsök

3.1.1 Försök med stålplåt

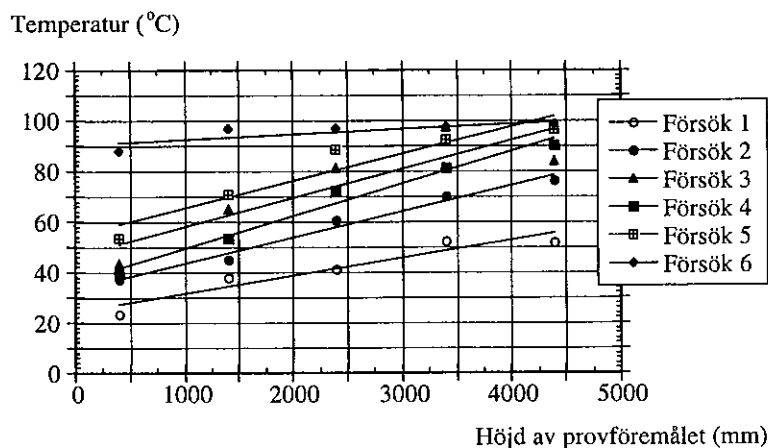
En försöksserie genomfördes med en stålplåt som avskiljande konstruktion. Stålplåten vattenbegöts med sprinklerdysor på den icke brandexponerade sidan. I tabell 3.1 visas en sammanställning av resultaten från försöken. Värdena i tabellen är uppskattade medelvärden från graferna. Enstaka punkter avviker i vissa fall beroende på t.ex. ojämnt vattenflöde eller på vilken höjd mätningarna gjorts. Angivna värden är medelvärde på respektive nivå under försöksintervallet. Ytterligare försöksdata redovisas i appendix A1.

Tabell 3.1 Resultatsammanställning för försök med stålplåt

För-sök	Effekt (kW)	Temperatur före vattenkylning (°C)		Temperatur under vattenkylning (°C)		Vatten (l/min · m ²)		Vatten (°C)
		T _{yta}	T _{ugn}	T _{yta}	T _{ugn}	Flöde in	Förångat / spillt	
1	2x95	330	470	42	330	3,8	1,3	33
2	2x95	330	470	60	350	2,2	0,6	47
3	2x95	330	470	75	361	1,6	0,6	50
4	2x110	400	550	68	393	2,2	0,6	54
5	3x110	445	598	83	512	2,2	0,9	60
6	3x110	445	598	96	525	1,7	1,0	57

I försöken med stålplåt blev strålningen på den oexponerade sidan mycket låg, mindre än 1 kW/m² även om torra partier kunde noteras. För just stålplåt kan man förmoda att värmeledningen i plåten är tillräckligt god för att en viss kylning skall åstadkommas även i de fält som är torra. Vattnet på båda sidor om de torra partierna bidrar till att hålla yttemperaturen nere genom värmeledning i väggen.

Yttemperaturen mättes på olika höjder på provföremålet och i figur 3.1 visas hur yttemperaturen varierar med höjden. I många av försöken visar en jämförelse att temperaturen är förhållandevis ojämn mellan två mätningar på samma höjd. Mätpunkterna sitter med drygt en meters mellanrum. Det speglar en ojämn vattenfördelning och eventuellt en inverkan av sprinkler dysornas placering i förhållande till mätpunkterna.



Figur 3.1 Yttemperatur på olika höjder av provföremålet.

3.1.2 Försök med brandgardin

Den andra försöksserien utfördes med en brandgardin som avskiljande konstruktion. Brandgardinen uppfyller brandteknisk klass E60. Brandgardinen vattenbegöts på den icke brandexponerade sidan. I tabell 3.2 visas en sammanställning av resultaten från försöken. I en av försöksserierna, den benämnd 4.n, användes ingen vattenbegjutning. Ytterligare försöksdata redovisas i appendix A1.

Tabell 3.2 Resultatsammanställning för försök med brandgardin.

Försök	Effekt (kW)	Ugnstemperatur (°C)	Strålning* mindre än (kW/m ²)	Vattenflöde in beräknat (l/min · m ²)	Förångat / spillt vatten (l/min · m ²)	Temperatur Vatten ut (°C)
1.1	600	550	1,4	1,5	0,1	70
1.2	700	620	1,3	1,5	0,2	75
1.3	850	675	1,2	1,5	0,3	76
2.1	600	550	1,8	3,0	0,3	67
2.2	700	580	1,8	3,0	0,4	70
2.3	800	620	0,9	3,0	0,5	73
2.4	850	620	0,9	3,0	0,5	85
3.1	500	475	1,4	1,0	0,0	66
3.2	600	540	1,7	1,0	0,1	71
3.3	700	590	1,3	1,0	0,1	72
3.4	800	620	1,6	1,0	0,2	72
3.5	850	625	1,9	1,0	0,2	71
4.1	500	520	12	-	-	-
4.2	600	625	18	-	-	-
4.3	700	685	21	-	-	-
4.4	800	740	25	-	-	-
4.5	750	740	25	-	-	-
4.6	650	690	21	-	-	-

* Strålningsvärden anges som strålning mindre än X kW/m² under försöket då strålningen mättes på tre olika höjder och strålningen varierar kraftigt med höjden.

3.2 Ugnsförsök

3.2.1 Vattenhastighet

Vattenhastigheten på provföremålet uppmättes genom att ett pigment hälldes ut i ovkant på provföremålet och att tiden för pigmentet att följa med vattnet till nedkant mättes. Mätningen gjordes endast på brandgardin och vid ett vattenflöde på 5,2 l/min · m². Den uppmätta hastigheten blev då 1,2 m/s.

3.2.2 Strålning

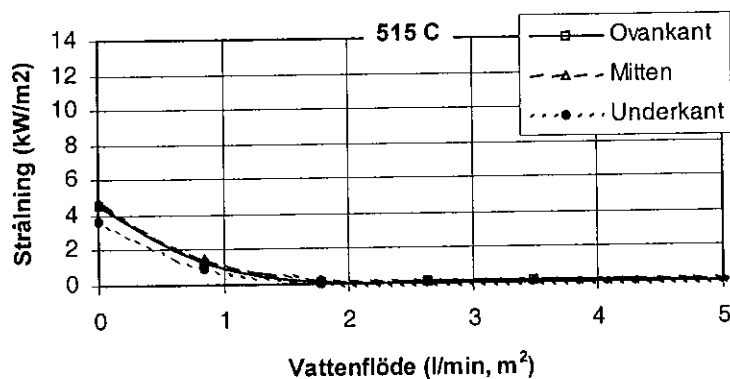
3.2.2.1 Brandgardin

I figur 3.2-4 visas de strålningsnivåer som uppmättes vid prov med brandgardin. Generellt visar försöken att strålningsnivån är låg (under 1 kW/m²) om vattenflödet är över 1,7 l/min · m² och ugnstemperaturen under 800°C, se tabell 3.3 och figur 3.2-4. Vid temperaturen 810°C gjordes endast ett försök och det med vattenflödet 1,7 l/min · m².

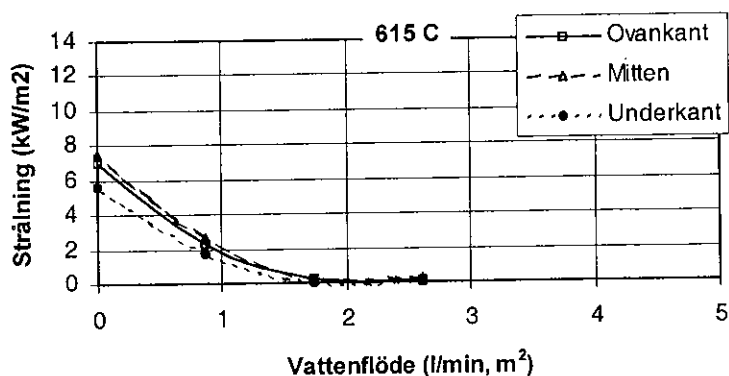
Försöken visar att strålningen vid alla provade temperaturer ligger på en låg nivå till dess att vattenflödet understiger cirka 1,7 l/min · m² varefter strålningen ökar. Detta är oberoende av temperatur i ugnen. Strålningsnivån utan vattenbegjutning ökar med ökande ugnstemperatur, se tabell 3.3.

Tabell 3.3 Uppmätt strålning vid olika temperaturer och vattenflöden för brandgardin.

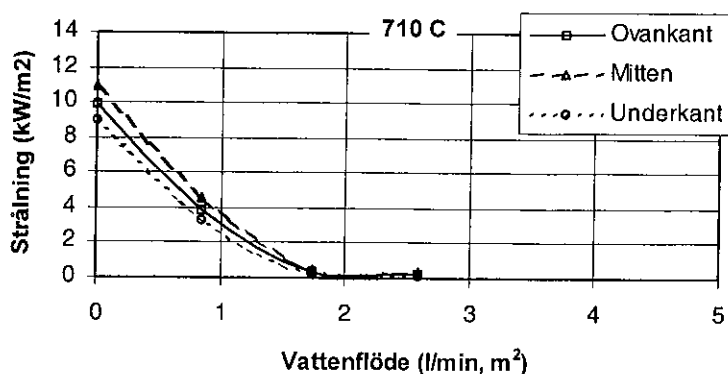
Temp (°C)	Vattenflöde (l/min, m ²)	Strålning (kW/m ²)		
		Ovankant	Mitten	Underkant
515	5,2	0,0	0,1	0,0
515	3,5	0,1	0,1	0,0
515	2,6	0,1	0,2	0,0
515	1,8	0,2	0,2	0,0
515	0,9	1,3	1,5	0,9
515	0,0	4,6	4,8	3,6
615	2,6	0,2	0,2	0,0
615	1,7	0,2	0,3	0,0
615	0,9	2,3	2,7	1,7
615	0,0	7,0	7,4	5,6
710	2,6	0,3	0,3	0,1
710	1,7	0,4	0,4	0,2
710	0,9	3,9	4,5	3,3
710	0,0	9,9	10,9	9,0
810	1,7	0,7	1,1	1,4



Figur 3.2 Strålning som funktion av vattenflöde vid 515°C.



Figur 3.3 Strålning som funktion av vattenflöde vid 615°C.



Figur 3.4 Strålning som funktion av vattenflöde vid 710°C.

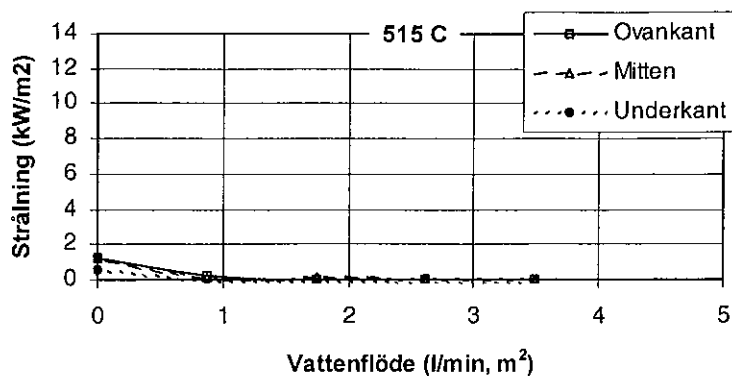
3.2.2.2 Jalusi

I figur 3.5-7 visas de strålningsnivåer som uppmättes vid prov med ståljalusi. Observera att de vattenflöden som ges i figurerna är det totala flödet och gäller då för en bredd av 3 m. Vid temperaturen 810°C gjordes endast ett försök och det med vattenflödet 1,7 l/min · m².

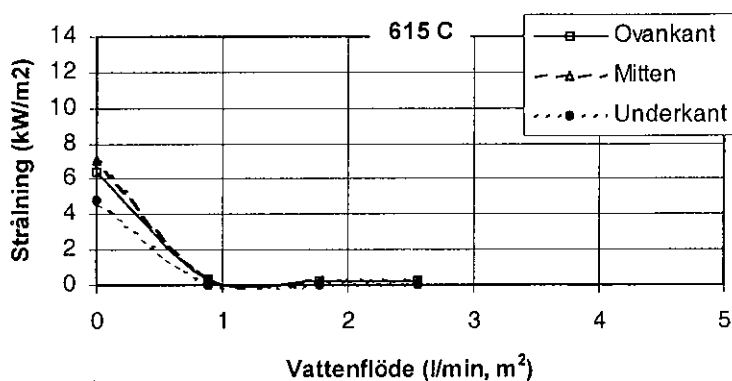
Generellt visar försöken att strålningsnivån är låg (under 1 kW/m²) om vattenflödet är över 1,7 l/min · m² och ugnstemperaturen under 800°C, se tabell 3.4 och figur 3.5-7. Försöken visar att strålningen vid alla provade temperaturer ligger på en låg nivå till dess att vattenflödet understiger cirka 1,7 l/min, m² varefter strålningen ökar. Detta är oberoende av temperatur i ugnen. Strålningsnivån utan vattenbegjutning ökar med ökande ugnstemperatur, se tabell 3.4.

Tabell 3.4 Uppmätt strålning vid olika temperaturer och vattenflöden för jalusi.

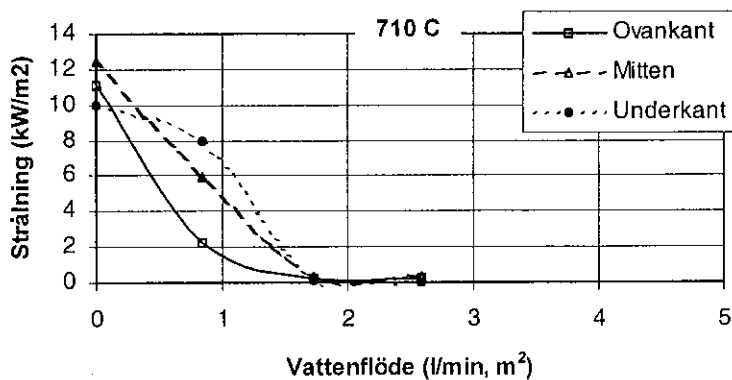
Temp (°C)	Flöde (l/min · m ²)	Strålning (kW/m ²)		
		Ovankant	Mitten	Underkant
515	3,5	0,0	0,0	0,0
515	2,6	0,0	0,0	0,0
515	1,7	0,0	0,1	0,0
515	0,9	0,2	0,2	0,0
515	0,0	1,3	1,2	0,6
615	2,6	0,2	0,2	0,0
615	1,8	0,2	0,2	0,0
615	0,9	0,3	0,3	0,0
615	0,0	6,3	7,0	4,8
710	2,6	0,2	0,3	0,0
710	1,7	0,2	0,3	0,1
710	0,8	2,3	5,9	8,0
710	0,0	11,1	12,4	10,0
810	1,7	1,8	5,4	9,2



Figur 3.5 Strålning som funktion av vattenflöde vid 515°C.



Figur 3.6 Strålning som funktion av vattenflöde vid 615°C.

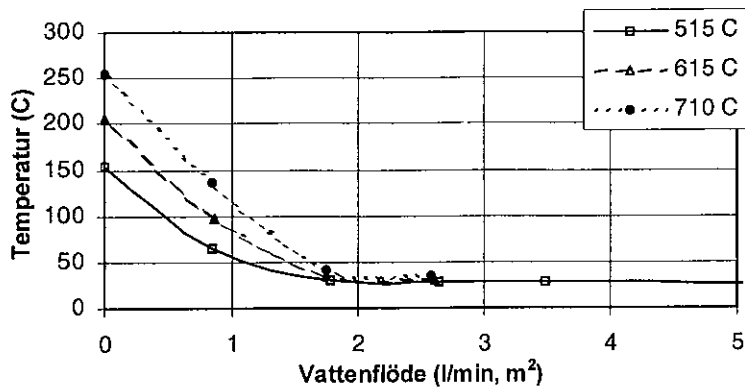


Figur 3.7 Strålning som funktion av vattenflöde vid 710°C.

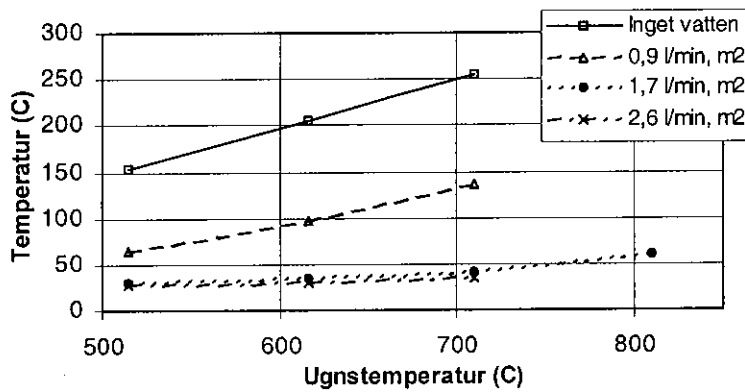
3.2.3 Temperatur på icke brandutsatt sida

3.2.3.1 Brandgardin

I figur 3.8-9 visas de medeltemperaturer som uppmättes på den ej brandutsatta sidan med plattermoelement monterade 1 m från ytan. På samma sätt som för strålningen ligger temperaturen konstant på en låg nivå (under 50°C) till dess att vattenflödet understiger 1,7 l/min · m².



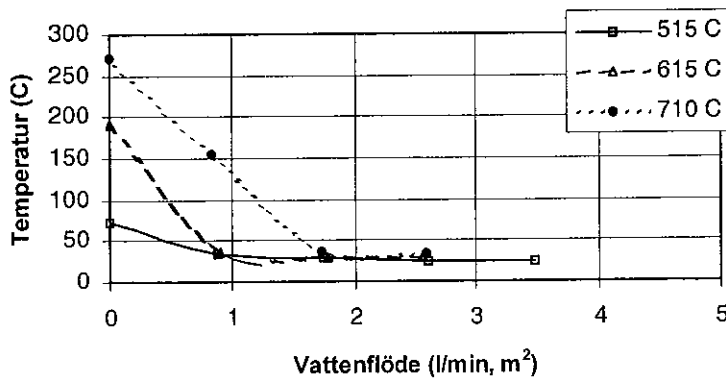
Figur 3.8 Temperatur på icke brandutsatt sida som funktion av vattenflöde.



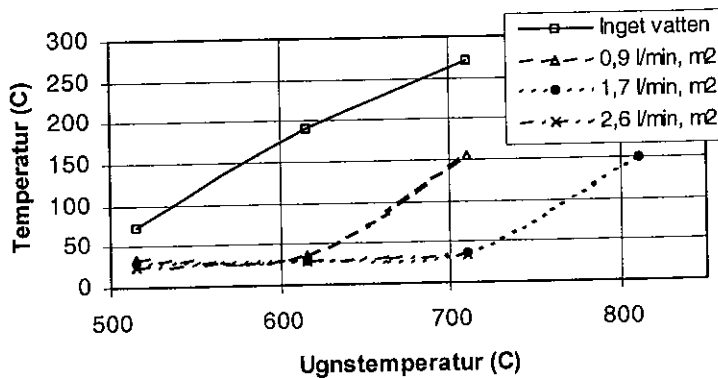
Figur 3.9 Temperatur på icke brandutsatt sida som funktion av temperatur i ugnen.

3.2.3.2 Jalusi

I figur 3.10-11 visas de medeltemperaturer som uppmättes på den ej brandutsatta sidan med plattermoelement monterade 1 m från ytan. På samma sätt som för strålningen ligger temperaturen konstant på en låg nivå (under 50°C) till dess att vattenflödet understiger 1,7 l/min · m², och om temperaturen i ugnen ligger under 700°C.



Figur 3.10 Temperatur på icke brandutsatt sida som funktion av vattenflöde.



Figur 3.11 Temperatur på icke brandutsatt sida som funktion av temperatur i ugnen.

3.3 Diskussion kring försöken

Försöken visar att det mycket lätt bildas torra fält där temperaturen ökar drastiskt. Att helt undvika uppkomsten av torra fält är mycket svårt om man strävar efter att hålla vattenflödet på en låg nivå. Även om torra fält uppkommer ökar dock inte strålningen på den oexponerade sidan nämnvärt. Försök med brandgardin utan vattenbegjutning visade strålningsnivåer mellan 12-25 kW/m², se tabell 3.2 (serie 4). Med vattenbegjutning blev strålningen aldrig högre än ca 2-3 kW/m² även om torra partier kunde noteras. Som jämförelse kan nämnas att vid försök med en liknande brandgardin i ugn, med brandbelastning enligt standardbrandkurvan utan vattenbegjutning, så uppgick strålningen till över 30 kW/m² efter 90 minuter, [5].

När det gäller försöken med brandgardin så får vi komma ihåg att gardinen i sig själv till viss del dämpar brandspridningen då den är gjord av en mycket brandtålig textil.

Från tabell 3.2 framgår att strålningsnivån reduceras betydligt vid vattenbegjutning. Även vid de lägsta vattenflödena blir strålningen så låg att material svårligen kan antändas på den icke brandutsatta sidan. Utan vattenbegjutning är situationen den omvända.

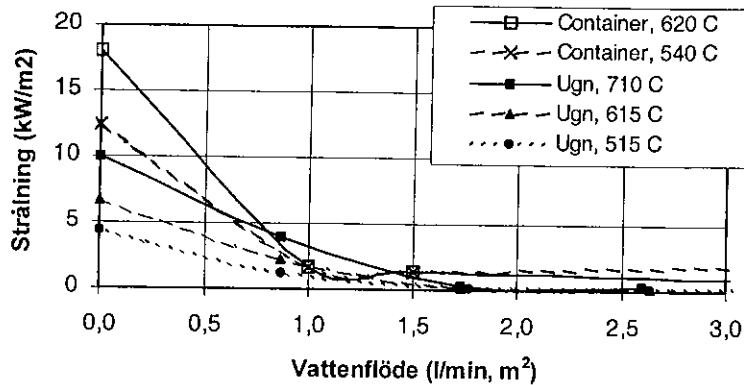
Strålningen från den vattenbegjutna brandgardinen är upp till ca 2,5 kW/m² medan strålningen från stålplåten endast var ca 0,5 kW/m². Den nedersta strålningsmätaren framför brandgardinen registrerar högst strålning vilket kan tyda på att det bildats mycket heta ytor och att strukturen på materialet i brandgardinen bidrar till att vattnets spridning över ytan inte är tillräcklig. En bidragande faktor till att en högre strålning registreras kan även vara placeringen i förhållande till brännaren inuti containern.

Försöken visar att vattenflöden kring 1,5 l/min · m² ger en acceptabel strålningsnivå på den icke brandexponerade sidan vid en brandbelastning på 40-50 kW/m² och vid en höjd på konstruktionen som är maximalt 5 m. Det är ett förhållandevis lågt vattenflöde jämfört med det normala sprinklersystemet som vanligtvis dimensioneras till ca 15-25 l/min·m² golvyta. Det gör att vattenbegjutning av flexibla väggkonstruktioner kan vara mycket ekonomiskt, speciellt om det redan finns ett befintligt sprinklersystem i byggnaden.

Det låga vattenflödet medför också att risk för vattenskadorna inte är något problem då det utgör en förhållandevis liten vattenmängd. Det ger alltså en bra förbättring av brandskyddet i förhållande till kostnaden och risken för vattenskadorna.

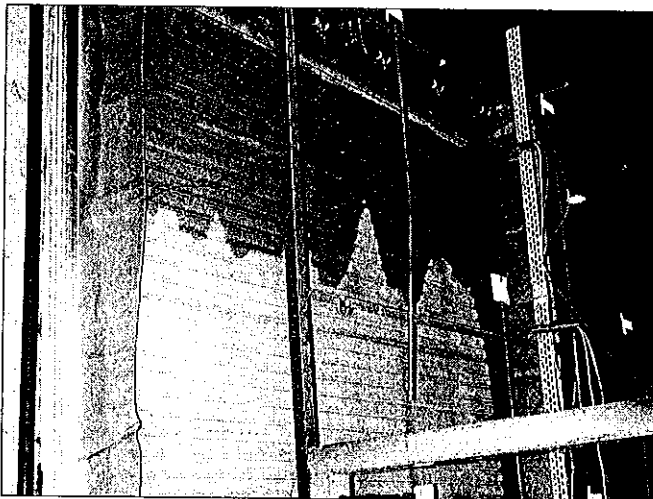
En av frågeställningarna innan projektet startade var om verifierande försök av nya material kan utföras i mindre skala. Projektet har dock visat att framtida försök på nya konstruktioner inte bör utföras i mindre skala än 3 x 3 m d.v.s. det som kan provas på en standardiserad brandprovningssugn. Att göra försök med vattenbegjutning i mindre skala ger inte relevanta resultat. En viss dimension krävs bl.a. för att se effekterna av höjdens inverkan på vattenfilmen. I figur

3.12 visas en jämförelse mellan resultat från prov med brandgardin i container med dimension 2,2 x 5,2 m, och i ugn med dimension 3,0 x 3,0 m. Dessa resultat visar att den uppmätta strålningsnivån utan vattenbegjutning är betydligt högre vid prov i container jämfört med prov i ugn. Men försöken visar även att i bägge provuppställningarna finner man samma "kritiska" vattenflöde, d.v.s. det vattenflöde där strålningen hamnar på ett minimum. Att man får en högre strålning i containerfallet är naturligt då synfaktorn är större än vid prov i ugn.



Figur 3.12 Strålning som funktion av vattenflöde för brandgardin vid olika temperatur.

Vid försök i ugn med ståljalusi såg man tydligt problemen med vattenbegjutning när jalusins temperatur var hög, d.v.s. att vattnet har svårt att bilda en film över ytan. Vid en temperatur på ståljalusin på 710°C och högre tog det över 15 minuter för vattenfilmen att nå ett stationärt tillstånd. Figur 3.13 visar hur vattenfilmen bildats på övre delen av provföremålet. Det beror dock till stor del på att vattenbegjutningen startade först då temperaturen i ugnen hade uppnått angiven nivå för försöken och konstruktionen hade värmts upp. I praktiken ska vattenbegjutningen starta mycket tidigare, innan branden hinner utvecklas, och konstruktionen kommer då att ha en lägre temperatur och det är då lättare att skapa en jämn vattenfilm.



Figur 3.13 Vattenfilm på ståljalusi.

4 Beräkningar

4.1 Försök med skiljevägg av stålplåt

Modellen för beräkning av kylning enligt Appendix B tillämpas här på de försök med skiljevägg av stålplåt som redovisats i avsnitt 3.2. Resultat från försöken utan vattenbegjutning har utnyttjats för att kontrollera beräkningsmodellen skisserad i appendix, avsnitt B1, när det gäller beräkning av strålningsvärmeflöden och värmeövergångstal. Beträffande emissiviteten för det använda bränslet, propan, har data från Ingason [6] utnyttjats. I [6] anges emissiviteten till 0,57 för en geometri med en fri medelvåglängd på ca 0,1 m. Om detta värde skalas upp till de dimensioner som gäller för containerugnen, avsnitt 2.1, visar det sig att emissiviteten kan anses vara mycket nära ett.

Tabell 4.1 sammanfattar resultaten från beräkning med vattenkylning av väggen. Med \dot{m}_{eff} avses det effektiva vattenflödet d.v.s. det nominella flödet minskat med flödet som inte träffar väggen (del av de två yttersta sprinklerna) och med uppskattat spill. I tabellen anges beräknat och uppmätt T_{s0} (temperatur i området närmast sprinklerna) för samtliga försök. De uppmätta temperaturerna har använts för att beräkna värmeövergångstalet h_{w0} för $x = 0$. Detta värmeövergångstal är en funktion av hastigheten ut från sprinklerna eller om man så vill av \dot{m}_{eff} . En approximativ korrelation har tagits fram enligt sambandet

$$h_{w0} = 43 + 456 \cdot \dot{m}_{eff} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.1)$$

Det bör noteras att denna korrelation är giltig bara för de sprinklerdysor som använts vid det aktuella försöket och för den aktuella utformningen med sprinklerplacering. Om andra dysor eller ett annat arrangemang av dysor används måste nya experiment utföras för att bestämma h_{w0} .

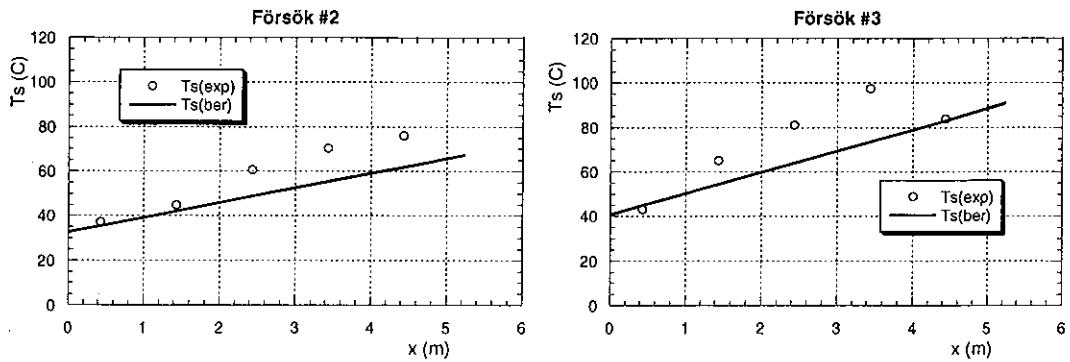
En uppskattning av värmeövergångstalet h_w för en tjock film av vatten som strömmar med samma hastighet som filmen i försöken ger vid handen att h_w kan förväntas bli av samma storleksordning som h_{w0} (med tjock menas här en film som är mycket tjockare än strömningsgränsskiktet). Eftersom det är svårt att beräkna värmeövergångstalet med någon större noggrannhet för en mycket tunn vattenfilm antas därför i beräkningarna att $h_w = h_{w0}$.

Vidare anges i tabellen lutningen hos väggtemperaturkurvan T_s' enligt ekvation (B.21) för försök 1 – 4 (jämför Figur 3.2). I försöken 5 och 6 har man uppenbarligen haft kokning över en del av väggen och ekvation (B.21) är bara giltig före kokning uppstår.

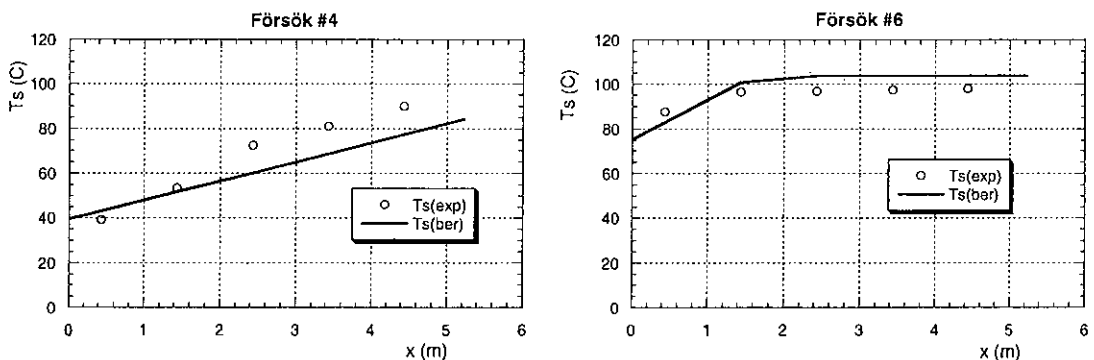
Tabell 4.1 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade temperaturer vid sprinklerna och väggtemperaturens gradient.

Försök #	T_g (°C)	\dot{m}_{eff} (kg/s)	T_{s0} (exp) (°C)	T_{s0} (ber) (°C)	T_s' (exp) (°C/m)	T_s' (ber) (°C/m)
1	330	0,57	24	23	7	3,4
2	350	0,33	33	33	10	6,6
3	361	0,24	37-45	41	11-12	9,5
4	393	0,33	36	40	-	-

Exempel på temperaturfördelningen längs väggen ges i figur 4.1 och 4.2. Väggtemperaturen i försök 6 där man haft kokning har uppskattats med användning av ekv. (B.22).



Figur 4.1 Experimentellt uppmätt och teoretiskt beräknad väggtemperatur för försök 2 och 3.



Figur 4.2 Experimentellt uppmätt och teoretiskt beräknad väggtemperatur för försök 4 och 6.

Från ovanstående diagram framgår att begynnelsestemperaturen T_{s0} ökar då massflödet av vatten minskar och att slutligen kokning uppstår på väggen längre ner. Från dessa försök kan man dock inte dra några slutsatser om vilka minsta vattenflöden som behövs för att hålla strålningsnivån på den icke brandutsatta sidan under en viss nivå. Detta på grund av att de applicerade vattenflödena i samtliga försök var avsevärt större än kritiska flödestätheter d.v.s. enligt ekvation (B.27)

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{m}}{BH} > \frac{\dot{q}}{H_v}$$

Baserat på det effektiva massflödet av vatten kan vattenfilmens tjocklek beräknas enligt ekv. (B.11). Om man jämför dessa tjocklekar med de observationer som redovisats i tabell 4.1 om när den kontinuerliga vattenfilmen bryts upp finner man att ett kritiskt värde för δ ligger i området 0,25-0,30 mm. Denna observation kan utnyttjas för att bestämma ett praktiskt gränsvärde för det minsta vattenflöde som kan appliceras utan att filmen delar sig. När det gäller försöken med plåtvägg var de resulterande strålningsnivåerna på den oexponerade sidan mindre än $0,5 \text{ kW/m}^2$ i samtliga fall. Orsaken till att strålningen inte ökade trots att man i alla försök utom #1 hade torra partier beror troligen på att stålplåten har så god värmeledningsförmåga att väggen ändå kyls i de torra partierna genom värmeledning i väggen tvärs strömningsriktningen.

Slutsatsen är att plåtförsöken inte medger en bestämning av kritiska vattenflöden kopplade till strålningen på den icke brandutsatta sidan. Detta på grund av att de applicerade vattenflödena var avsevärt större än kritiska flödestätheter. Däremot indikerar försöken en minsta filmtjocklek för att kunna bibehålla en kontinuerlig vattenfilm.

4.2 Försök med brandgardin som skiljevägg

En mer realistisk konstruktion som skiljevägg är den brandgardin som provats och som beskrivits i avsnitt 2.2.

I tabell 4.2 redovisas resultat från beräkningar av kritiska vattenflöden och filmtjocklekar för försöken med brandgardin.

Tabell 4.2 Resultat från beräkningar på brandgardiner provade i container.

Försök #	T_g (°C)	\dot{m}_{eff} (kg/s)	\dot{m}'' (kg/s·m ²)	\dot{q} (kW/m ²)	δ (mm)	\dot{q}/H_v (kg/s·m ²)
1.1	550	0,23	0,020	25,4	0,21	0,010
1.2	620	0,21	0,018	35,5	0,20	0,014
1.3	675	0,19	0,017	45,2	0,19	0,018
2.1	550	0,44	0,038	25,4	0,26	0,010
2.2	580	0,42	0,037	29,5	0,25	0,012
2.3	620	0,40	0,035	35,5	0,25	0,014
2.4	620	0,40	0,035	35,5	0,25	0,014
3.1	475	0,17	0,015	17,2	0,19	0,007
3.2	540	0,15	0,013	24,2	0,18	0,010
3.3	590	0,15	0,013	30,9	0,18	0,013
3.4	620	0,13	0,011	35,5	0,17	0,014
3.5	625	0,13	0,011	36,3	0,17	0,015

Observera att man har $\dot{m}'' < \dot{q}/H_v$ i försök 3.4 och 3.5. I försök 1.3, 3.2 och 3.3 ligger värdena mycket nära varandra. Man skulle alltså förvänta sig att man i serie 3 (åtminstone i 3.4 och 3.5) har ett torrt område längst ner på gardinen eftersom allt vatten förångats. Detta stämmer i stort med observationer från experimenten. Även om man som i försök 3.4 och 3.5 hade torra partier längst ner låg den uppmätta strålningsnivån under 2 kW/m² vilket är helt acceptabelt. Om en ökad säkerhet önskas kan man dividera \dot{m}'' med en säkerhetsfaktor vilket då ger följande villkor

$$\frac{\dot{m}''}{f} > \frac{\dot{q}}{H_v}$$

där f är säkerhetsfaktorn.

Observationen från plåtförsöken att filmtjockleken bör vara större än 0,25-0,30 mm för att få en kontinuerlig film verkar stämma i grova drag. Duförsöken indikerar att man kan acceptera en något tunnare film utan att strålningen ökar alltför mycket.

Beräkningsmodellen har verifierats gentemot de försök som gjorts med brandgardin provade på ugn. Resultaten från dessa beräkningar visas i tabell 4.3 och stämmer väl med de försök som gjorts. Experimenten visade att strålningsnivån en meter från gardinens yta översteg 3 kW/m² vid en ugnstemperatur på 710°C och med ett vattenflöde motsvarande $\dot{m}'' = 0,019$ kg/m²·s, vilket stämmer väl med det beräknade resultatet. Vid temperaturen 615°C visar försöken att strålningen överstiger 3 kW/m² vid ett vattenflöde omkring $\dot{m}'' = 0,013$ kg/m²·s, vilket även detta stämmer väl med det beräknade resultatet.

Tabell 4.3 Resultat från beräkningar på brandgardiner provade i ugn.

Temperatur (°C)	\dot{m}_{eff} (kg/s)	\dot{m}'' (kg/m ² ·s)	\dot{q} (kW/m ²)	\dot{q}/H_v (kg/m ² ·s)
515	0,74	0,082	-	-
515	0,49	0,055	-	-
515	0,38	0,042	-	-
515	0,26	0,029	-	-
515	0,13	0,015	-	-
515	0,0	-	18	0,008
615	0,37	0,041	-	-
615	0,25	0,028	-	-
615	0,13	0,015	-	-
615	0,0	-	29	0,013
710	0,37	0,041	-	-
710	0,25	0,028	-	-
710	0,13	0,015	-	-
710	0,0	-	42	0,019

5 Diskussion och slutsatser

Resultaten från denna studie visar att brandmotståndet hos oisolerade flexibla väggar kan förbättras genom att väggen vid brand begjuts med en vattenfilm. Genom användning av sprinkler kan man med små vattenflöden åstadkomma ett gott skydd hos flexibla väggar som används vid sektionering av lokaler.

Lämpliga material för en flexibel sektionering kan t ex vara ståljalusi, aluminiumjalusi, brandgardiner och andra mycket brandtåliga textilmaterial. De konstruktioner, eller material, som kan användas som avskiljande konstruktion vid brand skall utan vattenbegjutning klara de täthetskrav som finns. Den flexibla sektionering ska till största delen ses som ett sätt att öka egendomsskyddet. Den kan inte ersätta en konventionell EI-klassad konstruktion utan ytterligare utredning.

Verifierande försök av andra material bör inte utföras i mindre skala än 3 m x 3 m. Det är olämpligt då höjden har stor inverkan på vattenflödet, torra fält bildas på de nedre delarna av konstruktionen. Vidare kan dimensionen ha en stor betydelse avseende horisontella rörelser hos sektioneringen, och då framför allt hos gardiner. Dessa rörelser, eller deformationer, hos konstruktionen kan ha en stor effekt på hur väl vattenbegjutningen fungerar.

Vid användning av den framtagna beräkningsmodellen bör användaren ta hänsyn till hur väl man känner till egenskaperna hos den typ av sektionering som skall dimensioneras och då välja en säkerhetsfaktor som ger en dimensionering på säkra sidan. Säkerhetsfaktorn måste anpassas efter de omgivande faktorerna.

Generellt vid användning av brandgardiner måste hänsyn tas till vilket tryck som kan uppstå vid brand i aktuella lokaler. Försöken är utförda med låg tryckpåverkan på konstruktionen enligt normal brandstandard för brandprovning av byggnadskonstruktioner. Eftersom en brandgardin inte har samma styvhet som exempelvis ett ståljalusi, måste tryckets inverkan beaktas för att det skall fungera vid en brand. Även montaget mot anslutande konstruktion ska uppfylla kraven för aktuell brandteknisk klass.

6 Referenser

- [1] Tuovinen H., "Brandsektionering genom vattenbegjutning", SP rapport 1987:30, Statens Provningsanstalt 1986
- [2] Lundqvist A., "Brandsektionering genom vattenbegjutning – en experimentell studie", SP rapport 1991:28, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut 1991
- [3] Drysdale D., "An Introduction to Fire Dynamics", 1985
- [4] Holman J.P., "Heat Transfer", 7:e upplagan, 1992
- [5] Provningsrapport 97R1 2002 från SP-Sveriges Provnings- och forskningsinstitut
- [6] Ingason H. and deRis J., "Flame Heat Transfer in Storage Geometries", Fire Safety Journal, Vol. 31, 1998, pp. 39-60.

Appendix A - Försöksdata

I avsnitt 3 redovisas en sammanställning av försöksresultaten. Här följer en beskrivning med fler detaljer kring försöken och ytterligare försöksdata.

Termoelementen på ytan av brandgardinen var monterade med tejp, termoelementens trådar var ihop svetsade i mätpunkten. Vid plåtförsöken svetsades termoelementens trådar direkt på plåten. Som referens utgjordes ett termoelement av en kopparbricka d.v.s. ett mätförfarande av yttemperatur enligt provningsmetod ISO 834.

Flatstråledysorna var betecknade S.S CO. ¼ K-15, munstycket hade öppningsdimensionen 3,3 mm i diameter.

Dysorna var placerade 24 cm från plåten vid containerförsöken. Nedanför raden av dysor var en 300 mm bred plåt monterad.

Ventilationsöppningarna i taket av containern hade dimension ca (bredd x djup) 330 mm x 160 mm.

I tabell A.2 och A.3 finns en sammanställning av resultatet från mätningar utförda under försöken.

Tabell A.2 Försök med stålplåt

Nr	Effekt	Temperatur före vattenkylning		Temperatur under vattenkylning			Strålning* mindre än	Plattermo-element rigg	Vatten			Vatten	Kommentarer
		T _{yt}	T _{ugn}	T _{yt}	T _{ugn}	T _{ugn} 1 mm termoelement			Flöde in	Förångat / spillt vatten	Temperaturökning		
	(kW)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW/m ²)	(°C)	(l/min, m ³)	(l/min, m ³)	(%)	(°C)	
1	2x95	330	470	42	330	310	0,1	27	3,8	1,3	34	33	Sammanhängande vattenfilm över hela plåten
2	2x95	330	470	60	350	325	0,2	29	2,2	0,6	27	47	Sammanhängande vattenfilm över hela plåten utom små partier under de nedersta termoelementen. Ca 1 m torrt parti långt ner.
3	2x95	330	470	75	361	335	0,3	32	1,6	0,6	38	50	Vid 62,5 min, torra höga stråk ett ca 2,5 m, ett ca 2 m. Vid 80 min, två ca 3 m höga torra stråk ca 1 dm vid basen.
4	2x110	400	550	68	393	360	0,3	32	2,2	0,6	27	54	Vid 120 min, torra höga stråk ett 3 m, två ca 2 m, 1 dm vid basen.
5	3x110	445	598	83	512	450	0,4	34	2,2	0,9	41	60	Vid 65 min två torra stråk 2 m, 15 cm vid basen.
6	3x110	445	598	96	525	475	0,4	34	1,7	1,0	59	57	Fyra höga torra stråk max bredd vid basen 15 cm.

* Strålningsvärdet anges som strålning mindre än X kW/m² under försöket då strålningen mättes på tre olika höjder och strålningen varierar kraftigt med höjden.

En kommentar från försöket var att vid det första försöket samlades mindre vatten upp jämfört med övriga försök. Temperaturen på vattnet till sprinklerdysorna var 11°C. Temperaturen i hallen var ca 22°C vid försöket. Under förförsöket med stålplåt uppgick strålningen som mest till 6,1 kW/m².

Tabell A.3 Försök med brandgardin

Försök	Effekt (kW)	Ugnstemperatur (Plattermoelement)	Ugnstemperatur medel 1mm termoelement	Plattermoelement i skärmtak (°C)	Plattermoelement rigg (°C)	Strålning* mindre än (kW/m ²)	Vattenflöde in beräknat (l/min, m ²)	Förångat / spillt vatten		Vatten temperatur ut (°C)
								(l/min, m ²)	(%)	
1.1	600	550	515	30	26	1,4	1,5	0,1	7	70
1.2	700	620	575	35	22	1,3	1,5	0,2	13	75
1.3	850	675	620	40	22	1,2	1,5	0,3	20	76
2.1	600	550	510	20	20	1,8	3,0	0,3	10	67
2.2	700	580	540	20	20	1,8	3,0	0,4	13	70
2.3	800	620	590	20	20	0,9	3,0	0,5	17	73
2.4	850	620	590	20	20	0,9	3,0	0,5	17	85
3.1	500	475	440	30	18	1,4	1,0	0,0	0	66
3.2	600	540	510	40	20	1,7	1,0	0,1	10	71
3.3	700	590	550	40	22	1,3	1,0	0,1	10	72
3.4	800	620	590	40	23	1,6	1,0	0,2	20	72
3.5	850	625	600	40	25	1,9	1,0	0,2	20	71
4.1	500	520	510	55	< 105**	12,5	-	-	-	-
4.2	600	625	610	70	< 160**	18	-	-	-	-
4.3	700	685	670	85	< 195**	21,5	-	-	-	-
4.4	800	740	730	95	< 220**	25,5	-	-	-	-
4.5	750	740	725	100	< 225**	25	-	-	-	-
4.6	650	690	675	95	< 220**	21	-	-	-	-

* Strålningsvärdet anges som strålning mindre än X kW/m² under försöket då strålningen mättes på tre olika höjder och strålningen varierar kraftigt med höjden.
 ** Temperaturer anges som temperatur mindre än X °C under försöket då temperaturen varierade kraftigt med placeringen på provföremålet.

Brandgardinen som användes vid försöken var en glasfiberarmerad väv med jockleken 0,7 mm av fabrikat Previs.

Två plattermoelement var placerade i ett skärmtak ovanför provföremålet.

$$\dot{q}_u = \varepsilon_s \sigma (T_{su}^4 - T_a^4) + h_{su} (T_{su} - T_a) \quad (\text{B.2})$$

där T_{su} anger väggens yttemperatur på sprinklersidan, T_a är omgivningens temperatur, och h_{su} värmeövergångstalet.

Temperaturskillnaden över skiljeväggen ges av

$$T_{se} - T_{su} = \frac{\dot{q}_e L_s}{k_s} \quad (\text{B.3})$$

Här betecknar L_s skiljeväggens tjocklek och k_s väggmaterialets värmeledningsförmåga. Vid stationärt tillstånd har man vidare $\dot{q}_e = \dot{q}_u$. Normalt är temperaturfallet över väggen försumbart och man kan sätta $T_{se} = T_{su} = T_s$.

B2 Kylning med vattenfilm utan förångning

Vatten påföres väggen via ett antal sprinklermunstycken vid väggens övre del, $x = 0$, där x betecknar en längdkoordinat i riktning neråt med origo i väggens övre kant. Väggens höjd är H och följaktligen anger $x = H$ väggens nedre kant. Sprinklerna är riktade in mot väggen och kommer att ge en effektiv kylning närmast munstyckena. Om vattnets temperatur när det lämnar munstyckena betecknas med T_{w0} , väggens temperatur efter kylning till stationärt tillstånd med T_{s0} , och värmeövergångstalet med h_{w0} gäller

$$\varepsilon_s \sigma (T_g^4 - T_{s0}^4) = h_{w0} (T_{s0} - T_{w0}) \quad (\text{B.4})$$

Värmeövergångstalet h_{w0} är en funktion av vattnets utgångshastighet när det lämnar sprinklermunstyckena. Denna funktion kan bestämmas genom experiment en gång för alla så länge samma sprinklerdysor och samma sprinklerarrangemang används.

Ekvation (B.4) ger starttemperaturen T_{s0} vid väggens överkant $x = 0$.

För att förenkla beräkningarna införes ekvivalenta värmeövergångstal även för strålningsvärmefflödet d.v.s.

$$h_{se} = \frac{\varepsilon_s \sigma (T_g^4 - T_s^4)}{T_g - T_s}; \quad h_{su} = \frac{\varepsilon_s \sigma (T_s^4 - T_a^4)}{T_s - T_a} \quad (\text{B.5})$$

Vi antar att vatten påföres med ett konstant massflöde \dot{m} kg/s. Lokala hastigheten i den vattenfilm som bildas betecknas med u , och maximala hastigheten vid filmens yttre rand med U . Hastighetsprofilen i vattenfilmen kan approximativt tecknas

$$u = U \left(2 \frac{y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2} \right) \quad (\text{B.6})$$

där δ anger vattenfilmens tjocklek och där y är en koordinat vinkelrätt mot väggen ($0 \leq y \leq \delta$).

Tyngden av vattenfilmen motverkas av skjuvspänningen τ_w vid väggen

$$g\rho\delta \cdot dx = \tau_w \cdot dx \quad (\text{B.7})$$

Om accelerations- och tryckkraften försummas fås från Newtons ekvation

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_s = \frac{2U}{\delta} = \frac{g\rho\delta}{\mu} \quad (\text{B.8})$$

efter användning av hastighetsgradienten från (B.6) och skjuvkraften från (B.7).

I ekvation (B.8) betecknar g gravitationskonstanten, ρ vattnets densitet och μ vattnets dynamiska viskositet.

Integration av (B.6) över vattenfilmens tjocklek ger med användning av (B.8) filmens medelhastighet u_m

$$u_m = \frac{g\rho}{3\mu} \cdot \delta^2 \quad (\text{B.9})$$

Massflödet som passerar ett godtyckligt tvärsnitt x kan tecknas

$$\dot{m} = \rho u_m B \delta = B \frac{g\rho^2}{3\mu} \cdot \delta^3 \quad (\text{B.10})$$

där B anger väggens bredd.

Med massflödet \dot{m} känt ges vattenfilmens tjocklek av

$$\delta = \left(\frac{3\mu\dot{m}}{Bg\rho^2}\right)^{1/3} \quad (\text{B.11})$$

När vattenfilmen strömmar neråt längs väggen värms den upp. Värmeflödet till vattnet per längdenhet blir

$$\frac{dQ}{dx} = h_w B (T_{su} - T_w) \quad (\text{B.12})$$

där h_w är värmeövergångstalet mellan vägg och vattenfilm, och T_w vattnets lokala temperatur i ett snitt x . Om temperaturdifferensen över skiljeväggen kan försummas gäller $T_{su} = T_s$.

Den överförda värmen medför att vattenfilmens temperatur ökar i längsriktningen dvs

$$\frac{dQ}{dx} = \dot{m} c \frac{dT_w}{dx} \quad (\text{B.13})$$

där c anger vattnets specifika värme (4180 J/kg,K).

Den resulterande ekvationen för vattentemperaturens variation längs väggen blir därmed

$$\frac{dT_w}{dx} = \frac{h_w B}{\dot{m}c} [h_w (T_{su} - T_w) - h_{wu} (T_w - T_a)] \quad (\text{B.14})$$

Ytterligare ett samband mellan vägg- och vattentemperaturen behövs för att göra problemet lösbart. Detta samband fås från en total värmebalans över väggen

$$h_{se} (T_g - T_{se}) = h_w (T_{su} - T_w) + h_{su} (T_{su} - T_a) \quad (\text{B.15})$$

Med temperaturdifferensen över väggen försummad fås följande lösningar till ekv. (B.14) och (B.15)

$$T_w(x) = F_1 - F_2 \cdot e^{-\alpha x} \quad (\text{B.16})$$

$$T_s(x) = T_{s0} + \frac{h_w F_2}{h_{se} + h_{su} + h_w} \cdot (1 - e^{-\alpha x}) \quad (\text{B.17})$$

där

$$F_1 = \frac{h_w (h_{se} T_g + h_{su} T_a) + h_{wu} (h_{se} + h_{su} + h_w) T_a}{h_w (h_{se} + h_{su}) + h_{wu} (h_{se} + h_{su} + h_w)} \quad (\text{B.18a})$$

$$F_2 = \frac{h_w h_{se} (T_g - T_{w0}) + [h_w h_{su} + h_{wu} (h_{se} + h_{su} + h_w)] (T_a - T_{w0})}{h_w (h_{se} + h_{su}) + h_{wu} (h_{se} + h_{su} + h_w)} \quad (\text{B.18b})$$

och

$$\alpha = \frac{h_w (h_{se} + h_{su}) + h_{wu} (h_{se} + h_{su} + h_w)}{h_{se} + h_{su} + h_w} \cdot \frac{B}{\dot{m}c} \quad (\text{B.18c})$$

I de flesta fall är $\alpha x \ll 1$ varför ekvation (B.16) och (B.17) kan förenklas genom serieutveckling av exponentialfunktionen och man får

$$T_w(x) = T_{w0} + \alpha F_2 x \quad (\text{B.19})$$

Den totala temperaturstegringen på vattnet längs väggen blir därmed

$$\Delta T_w = T_w(H) - T_{w0} = \alpha F_2 H \quad (\text{B.20})$$

På samma sätt fås för väggens temperatur

$$T_s(x) = T_{s0} + \frac{h_w F_2}{h_{se} + h_{su} + h_w} \cdot x \quad (\text{B.21})$$

