



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap



Södra Älvsborgs
Räddningstjänstförbund



Skärsläckarkonceptets operativa användande



Vetenskapliga studier

Genomförda av

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund i samarbete med
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
på uppdrag av dåvarande Statens räddningsverk

Förord

Behovet av teknisk och taktisk metodutveckling vid räddningsinsatser mot bränder inomhus är stort inom svensk och internationell räddningstjänst. Riskerna förenade med traditionella insatsmetoder, som i stor utsträckning förutsätter inträngning med rökdykare, är omfattande och utsätter brandmän för stora påfrestningar. Skadorna efter insatser med traditionella metoder är ofta stora och inte sällan förorsakade av räddningstjänsterna själva, beroende på konventionella tekniska och taktiska metodval som tidigare och fortfarande används men som idag kan ifrågasättas.

Behovet av metodutveckling inom räddningstjänsten är därför stort, och utvecklingen bör innebära, inte bara att risker för brandmän reduceras och att skador vid bränder minskar, utan även underlätta för framtidens brandmän att arbeta enklare och lättare utan de fysiska påfrestningar som traditionell metodik ofta förutsätter.

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund SÄRF har sedan 1993 arbetat med metodutveckling inom området inomhusbrandsläckning. Arbetet har varit framgångsrikt och gett omfattande erfarenheter av modern insatsmetodik.

Statens räddningsverk gav den 23 juni 2008 i uppdrag åt SÄRF att i samarbete med SP Sveriges Tekniska forskningsinstitut sammanställa resultaten av praktiska erfarenheter från skärsläckarekonceptets användning vid genomförda räddningsinsatser mot bränder i inomhusmiljöer och utföra vetenskapliga studier av dessa. Rapporten redovisar resultatet av uppdraget.

Arbetet har genomförts av en projektgrupp bestående av Ronny Fallberg och Krister Palmkvist från Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund SÄRF samt Teknologie doktorn Tommy Hertzberg och Professorn Haukur Ingason vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. SP har haft ansvar för de vetenskapliga beskrivningarna och studierna av erfarenheterna samt för inhämtandet av litteraturdata om skärsläckaren medan SÄRF har svarat för sammanställningen av de praktiska erfarenheterna från skärsläckarekonceptets användning vid genomförda räddningsinsatser. SÄRF har varit huvudansvarigt för rapportarbetet gentemot Statens räddningsverk och sedan den 1 januari 2009 MSB, där Bo Andersson, tidigare verksamhetsansvarig och numera expert i området brandsläckning, har varit kontaktperson.

Ett tack framförs till Försvarets materielverk (FMV) som lämnade tillstånd att använda data från försök gjorda på SP med skärsläckaren på FMV:s uppdrag samt Ulf Bjurman, tidigare avdelningschef vid Statens räddningsverk, som biträtt som rådgivare vid utformningen av rapporten, och Bo Nystrand som kompletterat rapporten med värdefullt bildmaterial.

Borås den 28 januari 2010
Kjell Wahlbeck
Räddningschef
Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund SÄRF

Innehållsförteckning

Sammanfattning

1. Inledning

2. Bakgrund

- *Risker vid brandbekämpning*
- *Utvecklingen av skärsläckaren*
- *Genomförda försök*
- *Uppföljning av försöksresultaten*
- *Utvärderingar av kommuner*
- *Räddningsverkets, numera MSB:s, åtgärder*
- *Praktisk tillämpning inom räddningstjänsten*
- *Erfarenheter från Paris och Prag*
- *Strategisk plan*

3. Insatser med skärsläckaren

- *Typinsatser med skärsläckare*
- *Mer detaljerad redovisning av tre exempel på skärsläckarinsats*
 1. *Brand i flerbostadhus i Svenljunga*
 2. *Brand i Industri, Rami Metall, Borås*
 3. *Brand i byggnad på Karlsnäsvägen i Ulricehamn*
- *Analysen av de tre exemplen*
- *Anlagd brand i stort industrihotell på Trandaredsgatan i Borås*
- *Analys av branden i industrihotellet*

4. SÄRF:s erfarenheter

- *Exempel på arbetsätt vid insats mot brand i medelstor lokal*
- *Utbildning*
- *Slutsatser av analysen av SÄRF:s erfarenheter*

5. Vatten och vattendimmans släckegenskaper

- *Introduktion*
- *Vattnets släckmekanismer*
- *Nedkylning av gas samt inertering av brandrummet*
- *Kastlängd*
- *Sammanfattning: gasnedkylning och inertering*
- *Ytkylning*
- *Sammanfattning: ytkylning*
- *Strålningsdämpning och absorption*
- *Slutsatser: strålningsdämpning*
- *Sammanfattning*

6. Experiment med skärsläckaren

- *Strålens utformning och spridning*
- *Vattenstrålens uppbrott efter penetration genom konstruktionsmaterial*
- *Spridning i rum utan brand*
- *Droppstorlek*
- *Kylning av brandgaser och inverkan av ventilationen*
- *Brandförsök i Dösjebro och Oslo 2000*
- *Brandförsök i Karlskrona 2000*
- *Brandförsök vid Guttasjön 2002*
- *Brandförsök på SP 2002*
- *Brandförsök i Kuopio 2003*
 1. *Försök 1*
 2. *Försök 2*
- *Brandförsök i Revinge 2007*
- *Sammanställning av temperatursänkningar*
- *Inverkan av inertering*
- *Sammanfattning*

7. Slutsatser om släckningsförmågan

8. Förslag till fortsatt förbättring av skärsläckarkonceptet

Litteratur

Bilaga 1 FIREFIGHT II presentationen Extinguishing a fire inside a building within 60 seconds, Tests at Guttasjön International Competence Centre Borås 22nd September 2009

Bilaga 2 Summary in English



Sammanfattning

Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund (SÄRF) har i samarbete med SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) på uppdrag av dåvarande Statens räddningsverk, numera Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), genomfört vetenskapliga studier av skärsläckarkonceptet mot bakgrund av rapporterade och dokumenterade erfarenheterna från snart tio års användningen av konceptet eller metoden vid genomförda insatser för släckning av bränder. Att bekämpa brand inne i brinnande byggnader är ett mycket riskfyllt arbete, och krav har ställts på att den konventionella metoden för brandbekämpning skall ersättas av nya metoder som erbjuder en god arbetsmiljö för insatspersonalen.

Räddningsverket initierade därför 1996 ett forsknings- och utvecklingsarbete som resulterade i skärsläckaren och en helt ny metodik för att släcka bränder. Det koncept som utvecklades består av värmedetektering med infraröd teknik, informations- och beslutsstöd samt precisionssläckning med skärsläckaren och övertrycksventilation (PPV) för att optimera verkningsgraden av skärsläckaren (på engelska The Cutting Extinguishing Concept – CEC). Konceptet integreras i normala släckfordon med en bemanning på 1 + 4 men ingår även som en del i den av Räddningsverket framtagna lättare insatsenheten, Offensiv enhet. I Sverige fanns 2008 omkring 120 skärsläckare, varav omkring 25 är monterade i offensiva enheter och övriga i konventionella släckfordon och höjdfordon.

SÄRF:s sammanställning av erfarenheterna i rapporterna från genomförda insatser med skärsläckaren efter utlarmning (675 larm under perioden 2004 – 2008), visar fördelningen på olika typinsatser. Rapporterna speglar i stort sett den spridning av olika typer av bränder som normalt förekommer. De vetenskapliga studierna av erfarenheterna understryker betydelsen av skärsläckarens skärande egenskaper för att snabbt nå in till brandrum och sidorum. För att undvika risken för att ansamlade brandgaser skall antändas, visar studien att man väljer skärsläckaren och kan därmed angripa branden direkt genom byggnadskonstruktionen och uppnå en snabb påverkan på brandförloppet. Skärsläckaren påverkar branden genom en kombination av kylning och inertering, dvs. syrekoncentrationen sjunker till följd av att

vattnet förångas och branden dämpas och släcks. I rapporten från studien sammanfattas slutsatser om skärsläckarkonceptet enligt följande:

- skärsläckaren kyler effektivt brandgaser och bromsar upp brandförloppet samt inerte även brandgaser med låg temperatur
- övertrycksventilation underlättas tack vare skärsläckarens förmåga att kontrollera brandgaser innan ventilationen påbörjas
- skärsläckaren möjliggör en snabbare uppstart för att påverka brand och brandgaser vid en insats
- skärsläckare möjliggör släckning mot erkänt svåråtkomliga bränder, t.ex. bränder i trossbottnar, tak och vindar
- taktiska valmöjligheter har ökat markant när man sammankopplar metoderna, IR-teknik, skärsläckare, övertrycksventilation.
- kunskapen om konceptet ökar användningsfrekvens och insatsens effektivitet och skapar ökad tilltro till skärsläckarkonceptets förmåga
- vatten- och miljöskador i samband med brandsläckning har minskat betydligt och i ett antal fall helt upphört efter att skärsläckare har använts
- konceptet förbättrar arbetsmiljön för brandpersonalen.
- som metod har skärsläckaren höjt säkerhetsnivån för insatspersonalen vid insats mot brand i byggnad
- skärsläckaren kan kontrollera invändig brand och brandgaser, samtidigt som forcering pågår

I rapporten beskrivs också hur SÄRF arbetar med skärsläckarkonceptet och med detta i kombination med annan metod och teknik. Även studier och forskning om vatten och vattendimmans släckegenskaper samt en sammanställning av ett antal experiment som utförts med skärsläckaren redovisas i rapporten. Fyra insatser mot brand som SÄRF genomfört presenteras mera utförligt. Ett antal förslag lämnas om framtida arbete för att utveckla skärsläckarkonceptet ytterligare.

Skärsläckaren används aktivt vid insatser i olika delar av landet, men det finns ett behov av förbättrad kunskap om strategi och taktik samt hur släckningen skall genomföras och vilken effekt olika insatser faktiskt har. Förbättrad kunskap skulle underlätta erfarenhetsutbyte inom räddningstjänsten och påskynda införandet av släckarkonceptet i hela landet.

En väl utvecklad utbildning avseende hela konceptet har etablerats och ingår i grundutbildningen, utbildningen för räddningsinsats av deltidsbrandmän och räddningsledarutbildningen. Genom EU-projektet FIREFIGHT, inom ramen för EU:s program Leonardo da Vinci, har ett e-learning paket och en kortare praktisk utbildning för brandmän, som skall kunna användas i huvudsak på hemmaplan, tagits fram. Partnerna i FIREFIGHT kom från England, Frankrike, Spanien, Sverige och Tjeckien, och Räddningsverket var samordnare för projektet. Arbetet fortsätter under perioden 2009-2011 i FIREFIGHT II (www.eufirefight.com), inom ramen för EU:s program för livslångt lärande under Leonardo da Vinci, med insatsledare och räddningschefer som målgrupp. Syftet är att utveckla yrkesutbildningen för

målgruppen i strategi och taktik för skärsläckarkonceptet. Förutom partners från tidigare deltagande länder, ingår partners från Estland och Finland. Även Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund är partner i FIREFIGHT II, och MSB är samordnare av EU-projektet med Bo Andersson som projektledare.

I studien föreslås att utformningen av övningsanläggningar anpassas så att dessa kan användas effektivt för att utbilda och öva hela skärsläckarkonceptet med IR-teknik, skärsläckare och övertrycksventilering. Befintliga lokaler och övningsanordningar för brandutbildningen är inte anpassade för att öva den taktik som skärsläckarkonceptet förutsätter. Anordningarna kan således inte erbjuda erforderliga förutsättningar när man t.ex. vill öva och visa skärsläckarens kylande förmåga, speciellt i en byggnad med stor volym.

En annan slutsats som dras efter genomgången av insatsrapporterna är att det fordras en mer utvecklad erfarenhetsrapportering från insatserna. Rapporterna bör innehålla, vilket för närvarande ofta saknas, en analys av använda metoders lämplighet, effektivitet, m.m. Nya metoder och ny teknik bör därför utvärderas på ett mer systematiskt sätt för att skapa större möjligheter för lärande av de olyckor och bättre förutsättningar för erfarenhetsutbyte, t.ex. om skärsläckarkonceptets praktiska tillämpning.



1. Inledning

Statens räddningsverk uppdrog den 23 juni 2008 åt Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund (SÄRF) att i samarbete med SP Sveriges Tekniska forskningsinstitut (SP) genomföra vetenskapliga studier av skärsläckarkonceptet mot bakgrund av rapporterade och dokumenterade erfarenheterna från snart tio års användningen av konceptet eller metoden vid genomförda insatser för släckning av bränder. Syftet var att, med utgångspunkt från vad som är känt idag om varför och hur skärsläckaren släcker vissa typer av bränder och vilka praktiska råd som finns för handhavandet, redovisa vilka områden som bör undersökas vidare för att fortsätta utvecklingen av skärsläckarkonceptets praktiska användning.

Studien har genomförts av en projektgrupp bestående av Ronny Fallberg och Krister Palmkvist från Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund samt Teknologie doktorn Tommy Hertzberg och Professorn Haukur Ingason vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. SP har haft ansvar för de vetenskapliga beskrivningarna och studierna av erfarenheterna samt för inhämtandet av litteraturredata om skärsläckaren medan SÄRF har ansvarat för sammanställningen av erfarenheterna från skärsläckarkonceptets användningen vid genomförda insatser för att bekämpa bränder. SÄRF har varit huvudansvariga för arbetet gentemot Statens Räddningsverk, sedan den 1 januari 2009 Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), och svarat för kontakterna med Räddningsverkets verksamhetsansvarige för brandfrågor Bo Andersson.

I rapportens kapitel 2 redovisas som bakgrund kortfattat utvecklingen av skärsläckaren och därefter i kapitel 3 erfarenheter av genomförda insatser med skärsläckaren efter utlarmning, dels en mer övergripande sammanställning av erfarenheter med fördelning på olika typinsatser, dels detaljerade redovisningar av tre insatser nämligen i Svenljunga, Borås och Ulricehamn samt av en större industribrand i Borås. I kapitel 4 presenteras hur SÄRF arbetar med skärsläckaren och andra metoder relaterade till denna. Vatten och vattendimmans släckegenskaper beskrivs i kapitel 5 och i kapitel 6 lämnas en sammanställning av alla experiment som utförts med skärsläckaren samt vad som framkommit vid dessa. I kapitel 7 dras slutsatser från kapitel 1 – 6, och förslag till inriktning av framtida arbete med utveckling av skärsläckaren lämnas i det avslutande kapitlet 8.



2. Bakgrund

Skärsläckaren har delvis sin bakgrund i de försök som Luleå räddningstjänst genomförde i början av 1990-talet för att ta fram bättre metoder för håltagning i tak på brinnande byggnader. Dessa redovisades 1996 för Statens räddningsverk, som därefter genomförde en förstudie av användning av vatten under högt tryck med tillsats av skärmedel. Inom ramen för förstudien genomfördes försök som visade att förutom skärförmåga så hade metoden en väsentlig positiv bieffekt nämligen att branden dämpades och i vissa fall även släcktes. Det fortsatta utvecklingsarbetet fick härigenom en ny inriktning, och skärsläckaren var född.

Redan under 1980-talet hade s.k. offensiv brandsläckning utvecklats som metod för inomhusbrandsläckning, dvs. rökdykarinsats med dimstrålrör och pulsationssläckteknik och med brandrummet tillslutet under släckinsatsen för att förhindra inströmmande syrerik luft. När branden släckts öppnades brandrummet och även angränsande utrymmen för att möjliggöra brandventilation. Sedan dess har ny teknik och nya metoder tillkommit som ger räddningstjänsten möjligheter att välja mellan dessa eller kombinera dem, beroende på behoven vid respektive brand och därmed skapa förutsättningar för säker, snabb och effektiv insats. Skärsläckaren tillsammans med IR-teknik och övertrycksventilation är exempel på sådan ny teknik och metod inom räddningstjänsten som används från utsidan av brandrummet, till skillnad mot tidigare använda metoder. Detta möjliggör snabb påverkan på branden och brandförloppet inne i byggnaden.

En skärsläckare arbetar med högtryck (ett vattentryck på 200 – 300 bar) på liknande sätt som de fasta släcksystem (högtryckssprinkler med vattentryck på uppskattningsvis 70 – 120 bar) som arbetar med små droppar, s k vattendimma, men med mycket högre tryck. Vattnet lämnar skärsläckarens munstycket (tryck/munstycksutformning) med en utgångshastighet på 220 m/sek vilken kan jämföras med en högtryckssprinklers dropphastigheter på 2 - 20 m/sek.



Även om det inte är fullständigt klarlagt hur de droppar ser ut som lämnar munstycket i en skärsläckare har beräkningar visat att med ett vattentryck på 200 – 300 bar skulle droppstorleken bli 0,01 m.m. eller mindre. Droppstorleken från en högtryckssprinkler har uppskattats rent teoretiskt till 0,02 m.m. Droppstorleken är av stor betydelse då man vill analysera verkan av en skärsläckare. Sedan ett tiotal år existerar en ganska omfattande dokumentation och forskning om hur vattendimma fungerar som släckmedel. Även om droppstorleken från skärsläckaren förblir en fråga för framtiden, bör skärsläckarens mindre droppar och högre hastighet ge en väsentligt bättre släckeffekt än de bästa högtryckssprinkler som är tillgängliga idag.

Risker vid brandbekämpning

Att bekämpa brand i byggnader är ett mycket riskfyllt arbete och släckinsatsmetodikerna idag är fortfarande runt om i världen mycket fokuserad på att släcka inifrån, dvs. insatspersonalen går in i den brinnande byggnaden. Erfarenheten från genomförda analyser visar de mycket stora riskerna för personalen som är förenade med invändig släckning och krav (AFS:2007:7 Rök- och kemdykning) har ställts på bättre säkerhet.

Under perioden 1970 och framåt har det i Sverige inträffat flera allvarliga olyckor vid bekämpning av bränder inomhus då brandmän och rökdykare skadats och i flera fall omkom rökdykare. Vid närmare undersökningar konstaterades det att rökdykarna i flera fall ej hade uppfattat brandens snabba förlopp. Brandgaser hade spridit sig i byggnaderna och därefter antänts till följd av den hastigt ökade höjningen av temperaturen och tillförseln av syre. Om brandmännen haft större kunskap om detta fenomen och därmed kunnat förebygga riskerna, så hade troligtvis flera av dessa olyckor kunnat undvikas.

Utbildningar skapades därför för att öka brandmännens kunskapen om brandförloppet vid en inomhusbrand. I utbildningen ingick såväl teori som praktisk övning i speciellt konstruerade containers i vilka bl.a. insidans väggar byggdes upp med spånskivor för att efterlikna en rumsbrand. Detta skapade en ökad förståelse hos brandmännen för brandens förlopp och hur strålrör med finfördelad vattendimma skulle användas för släckning.

Denna i Sverige utvecklade metodik, som innebär att rökdykarna tränger in i den brinnande byggnaden och håller brandrummen tillslutna så att syrerik luft inte släpps in, kallades för offensiv släckningsmetod. Brandgaser, tak och väggmaterial kyls med strålröret fram till initialbranden. Sökning genomförs efter eventuella kvarvarande personer i byggnaden och, när säkerhet uppnåtts i brandrummet med vattendimma så att det inte finns risker för antändning av brandgaser, kan brandrummet öppnas upp för ventilering. Denna taktik och metodik medförde att olyckorna med rökdykare minskade.

I Borås påbörjade räddningstjänsten 1993 försök i byggnader med PPV-fläktar för att i offensivt syfte få bort brandgaserna i byggnaden och därmed motverka problemen vid rökdykarinsatser med hög temperatur och dålig sikt för att optimera möjligheterna att genomföra livräddning. Tanken var att om branden ej är kontrollerad av syretillgång i brandrummet, kan brandgaserna ventileras bort, sikten förbättras och temperaturen sänkas. Därefter skulle rökdykarinsats genomföras för eftersökning och livräddning av kvarvarande människor, samtidigt som branden släcktes. SÄRF utvecklade denna metod med PPV-fläktar och kunde efter ett antal fullskaleförsök 1995 börja använda metoden vid verkliga insatser.

Större krav på en god och säker arbetsmiljö för brandpersonalen ställs emellertid idag än tidigare, när rökdykarinsatser genomfördes regelmässigt även i riskfyllda situationer och olämplig miljö samt situationer där insatserna var ineffektiva. Arbetsmiljöverket i Sverige förskriver att rökdykning primärt är en livräddande insats (AFS:2007:7 Rök- och kemdykning). Invändning släckning genom rökdykning bör därför undvikas så långt detta är möjligt, och utvändigt brandbekämpning bör övervägas som första alternativ.

Utvecklingen av skärsläckaren

Mot bakgrund i de försök som Luleå räddningstjänst genomförde i början av 1990-talet, startade Räddningsverket, med brandingenjören Bo Andersson som projektledare, 1996 ett forsknings- och utvecklingsarbete. I en förstudie föreslogs ett projekt för att utveckla en utrustning i enlighet med lämnade kravspecifikationer för användning i brandfordon med hävare. Avsikten var att få fram prototyper för att möjliggöra utvärdering av metoden. Fördjupade studier genomfördes för att fastställa vilka komponenter som skulle behövas. Därefter utfördes släckningsförsök med en för ändamålet konstruerad plattform som bekräftade att metoden var utvecklingsbar. Arbetet resulterade 2001 i en rapport som redovisade den grundläggande utvecklingen av skärsläckaren från idé till en helt ny metod och teknik eller färdigt system för att släcka bränder. Ett lyft för utvecklingen av ett sådant system skedde 2000 när samarbetet inleddes mellan SÄRF och SRV.

Skärsläckaren hade från början utvecklats för att skära hål i takmaterial och skapa öppningar för brandventilation och för att komma åt brand bakom plåtfasader på hus. Vid tester visade det sig att den vattendimma som

trängde in i byggnaden kunde kontrollera brandgaser mycket effektiv och hade förmåga att även släcka bränder från en position på utsidan av byggnaden. Genom skärsläckaren som hade en förmåga att punktera eller penetrera genom väggar tak och golv för att skjuta in vattendimma in i en brinnande byggnad, fanns det således nu ett släcksystem som kunde kyla från utsidan in genom vägg och dramatiskt öka möjligheten till en säker insats. Det hade inte tidigare varit möjligt att kontrollera brandgaser och brand från utsidan av den brinnande byggnaden.

Den utveckling som följde medförde att det 1999 utvecklades en handhållen lans som underlättade insatser genom att möjliggöra snabba förflyttningar på utsidan men även inne i en byggnad för att använda skärsläckaren där under brandbekämpningen. Skärsläckarutrustningen monterades på släckfordon och detta medförde att brandpersonalen snabbt kunde välja metod beroende på de aktuella problemen vid branden. En brandman kunde således starta användningen med handlansen för att dämpa brandförlopp och kontrollera branden. Övriga brandmän i insatsstyrkan kunde samtidigt lägga ut slang och förbereda PPV ventilering och med stöd av IR-kamera bestämma lämplig plats för insättningen av skärsläckaren. Denna utveckling öppnade för ett nytt taktiskt tänkande. Vid många brandtillbud kunde metoderna kombineras och användas framgångsrikt tillsammans.

IR-teknikens utveckling och ökade användning innebär en stor hjälp vid brandbekämpning, ursprungligen som hjälpmedel för att inne i en brinnande byggnad, med ibland obefintlig sikt, snabbt konstatera om det fanns personer kvar där. Numera används IR-teknik för att scanna en brinnande byggnad från utsidan och med kamerans temperaturregistrering identifiera brandens startrum och spridning, spridningen av heta brandgaser, risker för övertändning osv. Detta skapar förutsättningarna för att sätta in ändamålsenliga åtgärder på mest lämpliga plats och mäta effekten av dessa.

PPV-fläkt kan sättas in för att skydda sidoutrymmen, s.k. trycksättning, alternativt användas i offensivt syfte. När IR-teknik, skärsläckare och PPV utnyttjas tillsammans och sammanfogas till en helhet, undviks en riskfylld rökdykarinsats. Rökdykning som metod kan endast användas för livräddning. Men om detta behov ej föreligger bör alltid alternativa släckmetoder väljas av säkerhetsskäl. Om en livräddningsinsats ändå visar sig nödvändig kan den genomföras på ett säkrare sätt med hjälp av skärsläckarkonceptet. Med stöd av det luftflöde som PPV-fläkten skapar, kan rökdykare i så fall tränga in i byggnaden för livräddning.

Räddningsverket initierade 2002 försök med montering av skärsläckare på ett mindre fordon för att öka snabbheten och rörligheten vid insatserna. Detta har utvecklats vidare till helhetskonceptet Offensiv enhet (Bas 5A), och det finns nu ett 40-tal sådana små enheter i Sverige. Offensiva enheter bygger på metod och teknik för insatser vid akuta sjukvårdslarm (syrgas-, defibrillator - och sjukvårdsutrustning), ytlivräddning (lätt gummibåt, ytlivdräkt m.m.), räddning vid trafikolycka (lättare klipp- och

bändutrustning) samt brandsläckning (IR-kamera, skärsläckarutrustning och handbrandsläckare).

Den offensiva enheten skall ingå i en kedja av resurser beroende av händelse och behov av åtgärder. Uppgiften är att bryta ett skadeförlopp eller trycka tillbaka ett brandförlopp, eventuellt släcka branden, som en första insats tills förstärkande enheter når platsen. Enheten kan användas i både glesbygdsområden likväl som mer tätbyggda områden. En del kommuner har svårt att rekrytera deltidsbrandmän till ordinarie 1+4 bemanning med släckfordon och ser Offensiv enhet (Bas 5A) som en lösning eftersom den endast fordrar en bemanning på två för att bibehålla en insatsstyrka på orter som annars har haft svårt att bibehålla denna.

Utvecklingsarbetet hade genomförts i samarbete med olika räddningstjänster, högskolor/universitet och företag. Det system som var ett resultat av utvecklingen består av värmedetektering med infraröd teknik, kommunikation mellan insats och ledning, informations- och beslutsstöd samt precisionssläckning med skärsläckaren och övertrycksventilation med PPV-fläkt för att optimera verkningsgraden av skärsläckaren (på engelska The Cutting Extinguishing Concept – CEC). Konceptet ingår även som en del i den av Räddningsverket framtagna mindre insatsenheten Offensiv enhet.

Genomförda försök

De försök i Dösjebro och Oslo som redovisades av Helsingborgs Brandförsvär i mars 2000 visade klart och tydligt att skärsläckaren har en framtid vid bekämpning av inomhusbränder genom en unik förmåga att penetrera olika väggar och ytskikt i kombination med avsevärd släckförmåga. Skärsläckaren skapar goda möjligheter att på ett effektivt sätt påföra vatten. Detta leder till minskade vattenskador vid insatser. Vattendropparna i strålen sänker temperaturen mer effektivt än ett vanligt dimstrålrör. I de fall som munstycket placeras direkt emot konstruktionen och vattnet används till att både skära och släcka kommer minimala mängder luft att tillföras brandrummet.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstituts släckförsök med skärsläckaren i ett 500 m³ försöksrum visade att skärsläckaren fungerar mycket väl för att kontrollera eller släcka pool- eller spraybränder i ett slutet rum med begränsad ventilation. Skärsläckarens stora fördel ansågs vara dess förmåga att snabbt komma åt branden utan att tillföra syre och att kontrollera/släcka branden och samtidigt dramatiskt sänka temperaturen i rummet. De utförda försöken med skummedel som tillsats tyder på att skummedlet ej bidrar till förbättrad släckförmåga men återantändningstiden förlängdes avsevärt.

Försök vid Räddningsinstitutet i Kuopio gjordes i en stor lokal (1.700 m³) för att undersöka kyleffekten på brandgaser, både med skärsläckare och

dimspik. Försöken visade att skärsläckaren är ett betydligt snabbare verktyg att komma igång med. Det går att skära igenom de flesta material och den är uppkopplad och färdig för direkt användning. Det höga trycket i skärsläckaren gör att vattnet kommer längre in i utrymmet innan strålen bryter upp och de små vattendropparna kan omvandlas till vattenånga. Den vattenmängd som tillförs, 50 l/min, gör att risken för vattenskador är låg. Dimspiken har något högre vattenflöde, 72 l/min, men vattenstrålen har en helt annorlunda spridningsbild och når inte lika långt in i utrymmet.

Sammantaget visade försöken att skärsläckaren skapar en annorlunda taktik, vid t.ex. vindsbränder. Under själva kylningen (släckningen) strävar man nu istället efter att hålla utrymmet så slutet som möjligt. Ventilation skall alltså inte påbörjas, innan själva kylningen har genomförts. Samtidigt minimeras riskfyllda håltagningsmoment, t.ex. då brandpersonal måste beträda tak, och risker för insatspersonalen eftersom branden angrips från utsidan av den brinnande byggnaden.

Uppföljning av försöksresultaten

En del frågor aktualiserades i den rapport som Helsingborgs brandförsvär lämnade 2000 över delprojektet som angavs vara att betrakta som ett första steg på vägen mot att använda skärsläckaren i operativ räddningstjänst. I det utvecklingsarbete och försöken som förekommit sedan rapporten skrevs 2000 har de problem och de punkter som identifierades som underlag för fortsatt forskning och utveckling behandlats. Såväl utbildningsbehovet för att se till att skärsläckaren hanteras på ett säkert och effektivt sätt som de olika tekniska frågor som ställdes har lösts bl.a. genom att skärsläckaren blivit en del av ett sammanhållet koncept för insatser vid brand. Skärsläckaren har dessutom förbättrats successivt i olika avseenden. Den praktiska tillämpningen av skärsläckaren vid olika typer av insatser har visat att systemet fungerar på avsett sätt.

Utvärderingar av kommuner

Räddningstjänsten i Linköping tillsatte en projektgrupp som konstaterade att skärsläckaren höjer säkerheten för rökdykare mångfalt genom att mycket snabbt sänka temperaturen i brandrummet innan man går in t.ex. i källare eller på vindar. Skärsläckaren ihop med en s.k. PPV-fläkt är således en mycket bra kombination som sänker temperaturen i ett brandrum från 600 grader till 150 grader på någon minut och ger en bra sikt och en bra arbetsmiljö för personalen. Projektgruppen kom alltså fram till att rekommendera inköp av skärsläckare därför att skärsläckaren erbjuder stora fördelar genom dels stor ökad säkerhet för räddningspersonal, dels en potential att kunna nå betydligt bättre resultat i räddningsinsatser tack vare tidsvinst, bättre åtkomlighet av trånga och svårforcerade utrymmen samt effektivare kylning. Därutöver erbjuder skärsläckaren nya möjligheter att forcera knepiga material i besvärliga situationer såsom gasbehållare, fordon, pappersupplag, barkupplag m.m.

Dala-Mitts projektgruppen gjorde liknande bedömningar och ansåg att fordon som utrustas med skärsläckare även skall vara försedda med värmekamera samt PPV-fläkt för att optimera verkningsgraden av skärsläckaren.

De två projektgruppernas ställningstaganden som bekräftas av andra räddningstjänsters undersökningar ger en tydlig bild av den nya metodens betydelse för den praktiska räddningstjänsten. Skärsläckaren som till skillnad från vissa andra släckningsmetoder betecknas som ett ”förlåtande system” kan alltid användas direkt under insatsen utan att medföra skada. Samtidigt anges nödvändigheten av ett samspel mellan skärsläckaren och andra medel, främst värmekamera och PPV-fläkt. Sådana tankegångar ligger också bakom utvecklingen av det sammanhållna konceptet. Slutligen understryks betydelsen av utbildning.

Räddningsverkets, numera MSB:s, åtgärder

En väl utvecklad utbildning avseende hela konceptet etablerades vid Räddningsverkets skola i Sandö och ingår där i grundutbildningen, utbildningen av deltidbrandmän och räddningsledarutbildningen. Utbildningen för konceptet har genom EU-projektet FIREFIGHT inom ramen för EU:s program Leonardo da Vinci kompletterats med ett e-learning-paket och en kortare praktisk utbildning för brandmän, som skall kunna användas i huvudsak på hemmaplan. Deltagare i FIREFIGHT var bl.a. räddningsskolor i England, Frankrike, Spanien och Tjeckien samt Räddningsverket som samordnareⁱ. Arbetet fortsätter nu i FIREFIGHT II (www.eufirefight.com)ⁱⁱ inom ramen för EU:s program för livslångt lärande under Leonardo da Vinci med insatsledare och räddningschefer som målgrupp och syftet att utveckla yrkesutbildningen i strategi och taktik för målgruppen. Förutom tidigare deltagare är räddningsskolorna i Estland och Finland samt Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund partners i FIREFIGHT II, och MSB är samordnare av EU-projektet med Bo Andersson som projektledare.

ⁱ FIREFIGHT Partners: Statens räddningsverk, Tjeckiska räddningstjänsten genom Inrikesministeriet, Avons räddningstjänst i Storbritannien, Franska högskolan för brandbefäl (ENSOSP), Storbritanniens motsvarighet till Landsorganisationen, Spanska brandmannaförbundet (ASELF), Cold Cutting System AB (CCS), Dafo Brand AB, Saab och Ovako Bar AB.

ⁱⁱ FIREFIGHT II Partners: MSB, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, OVAKO Bar AB, Tjeckiens räddningstjänst genom Inrikesministeriet, Räddningstjänsten i Departementet Somme, Frankrike, Franska högskolan för brandbefäl (ENSOSP), EducExpert, Frankrike, Spanska brandmannaförbundet (ASELF), Estlands akademi för offentliga tjänster, räddningsskolan, Finlands räddningstjänstskola, Northamptonshire räddningstjänst, Storbritannien, och Storbritanniens motsvarighet till Landsorganisationen, Unite the UNION

Praktisk tillämpning inom räddningstjänsten

Introduktionen och den praktiska tillämpningen i Sverige av den nya metodiken och tekniken har tagit relativt lång tid. Övertrycksventilation introducerades 1993 och skärsläckaren omkring 6 år senare. En mycket stor del av svensk räddningstjänst (85 - 90 %) har nu anskaffat PPV-fläktar, bristande utbildning har medfört att denna metodik inte används i full utsträckning, t.ex. i ett tidigt skede av branden. F.n. har närmare en fjärdedel av kommunernas räddningstjänster/räddningstjänstförbund anskaffat skärsläckaren. Räddningsverket skapade 2004 en databank som sammanställer uppgifter om och erfarenheter av de larm där skärsläckaren använts.

Sammanställningar av 10 års erfarenheter från användningen av skärsläckaren grundade på mer än 1.000 larmrapporter visar tydligt att kunskapen om teknik och taktik ökat vartefter som skärsläckarmetoden använts alltmer vid insatser. Till detta bidrar i hög grad att tredje generationens IR-kameror ökar möjligheten att scanna från utsidan av en brinnande byggnad och få information om brandspridning och brandgastemperaturer, vilket ger beslutstöd vid val av metod och genomförande av insatsen.

Av rapporterna framgår att skärsläckarkonceptet är ett bra alternativ till rökdykning som släckmetod. Den typiska användningen enligt rapporterna är att utnyttja skärsläckarens förmåga för att punktera eller penetrera genom konstruktioner, kyla brandgas och släcka brand, men metoden kan även användas för annat, t.ex. att skära hål och genomföra torr brandsläckning. I insatsrapporterna finns information om använd tid för kylning av brandgaser i relation till storleken på en lokal, vinkel på skärsläckarlansen mot en byggnad och i förhållande till rumsgeometrin samt erfarenheter av att kyla brandgaser i öppna respektive dolda utrymmen, skapa en ångkudde som inertebrandgaser i sidoutrymmen osv. Det finns också exempel på större räddningstjänster som anskaffat en skärsläckare och endast fått begränsad erfarenhet av denna eftersom utrustningen använts vid ett begränsat antal larm, ofta sedan andra metoder först använts och effekten av dessa uteblivit. Andra räddningstjänster har anskaffat 8 - 10 skärsläckare som kommit till regelbunden användning med framgång. Skillnaden beror sannolikt i hög grad på olikheter i utbildning. Om insatspersonalen är väl utbildad skapar detta större förutsättningar för att skärsläckarmetoden sätts in i ett tidigt skede då skärsläckarens förmåga att kyla och släcka är störst.

Omkring 450 skärsläckare används nu i mer än 30 länder över hela världen. Dessa är installerade på allt från små skåpbilar och konventionella släckfordon på 10 – 15 ton till specialbyggda stora släckfordon på ett 10-tal flygplatser. Konceptet tillämpas vidare på olika typer av fartyg, på raffinaderier, på oljeborrplattformar, inom processindustrin, inom stålindustrin, i stora terminalhamnar, på skeppsvarv, i kolgruvor, inom bilindustri m.m. Vid kontakter med räddningstjänster i andra länder om skärsläckarkonceptet påtalas ofta vikten av att öka säkerheten vid invändig

brandsläckning. Många länder har egna dystra erfarenheter av att brandmän omkommit i samband med brandsläckning inne i byggnader.

Erfarenheter från Paris och Prag

Inom ramen för EU-projektet FIREFIGHT har erfarenheterna av användningen av skärsläckare i Paris och Prag presenterats. Paris brandkår (La Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris) genomförde under en sexmånadersperiod 2008 försök med skärsläckare i två stadsdelar dels i förorten Saint Denis, dels i Paris Champerret som ligger nära Paris stadskärna för att få ett underlag inför sina överväganden att införa skärsläckarkonceptet. I Paris genomförs i genomsnitt 65 uttryckningar till utvecklade bränder i byggnader varje dygn. Stadsdelen Saint Denis innehåller relativt stora moderna bostadsområden och en hel del industrier medan Paris Champerret är i huvudsak ren stadsbebyggelse. Skärsläckaren var med vid 223 uttryckningar samt användes i 29 fall och möjliggjorde släckning av 13 större bränder. Eftersom skärsläckarsystemet var en ny utrustning som hela styrkan inte var förtrogen med, användes det inte alltid när det kunde varit värdefullt. Skärsläckaren var inte heller alltid med i första insatsstyrkan och alltså först på plats, då den kunde varit särskilt nyttig. En tydlig erfarenhet var betydelsen av att ha tillgång till en modern IR-kamera för att sätta in skärsläckaren på det ställe där branden är mest intensiv.

Försöksperioden visade att brandmännens säkerhet förbättras med skärsläckaren och att situationen kan säkerställas innan personalen beordras in i en byggnad. Kylning kan genomföras i situationer då konventionell släckning inte kan genomföras på grund av byggnadens otillgänglighet och för hög temperatur. En begränsad mängd vatten behöver användas och begränsad skada orsakas vid släckningen av branden. Skärsläckaren har förmågan att behärska stora mängder energi och begränsa spridningen av branden. Vid försöken medverkade skärsläckaren till att släcka många olika typer av bränder, t.ex. i bil-garage, en affär stängd med en metalljalusidörr, en teknisk rörledning, en godsaksaffär och andra byggnader i Paris stadskärna. Skärsläckaren visade sig lätt och säker att använda. Den erforderliga utbildningen av insatspersonalen är enkel, och efter två till tre dagars utbildning kan personalen utnyttjas. Sammanlagt 60 brandmän utbildades för försöket.

Erfarenheten från Paris visade att skärsläckaren bör monteras i ett lätt fordon för att möjliggöra en snabb insats nära elden och bör därför lämna stationen först och om möjligt komma först på plats. Insatsledaren bör ha tillräcklig kunskap för att kunna bedöma situation och beordra insats med skärsläckaren. En IR-kamera som t.ex. Argus 4 kan skapa förutsättningar för att göra den bästa insatsen genom att underlätta för insatsledaren att analysera situationen och bestämma var skärsläckaren lämpligen skall sättas in. Den gör det möjligt att exakt följa utvecklingen av situationen och därmed begränsa den mängd vatten som används. En annan erfarenhet är att det är nödvändigt att informera de mycket traditionellt tänkande

brandmännen ordentligt om skärsläckarens förmåga och effektivitet. Skärsläckaren kan komma först på plats, frysa situationen, begränsa riskerna och förhindra spridning samt ansågs vara ett framtidsverktyg för alla heltidsbrandmän och frivilliga. Försöksverksamhet bedrivs även i andra franska brandkårer bl.a. Amiens i departementet Somme och Marseilles.



Skärsläckaren används sedan 2004 i Tjeckien med två enheter i Prag, vid brandskolan i Brno för utbildningsändamål och i två regioner, men de mer omfattande praktiska erfarenheterna är från Prag. För den fortsatta utvecklingen är det nödvändigt att utveckla ett system för att samla erfarenheterna mer systematiskt och skapa förutsättningar för att utbyta erfarenheter. Det behövs också förbättrad information om användningen av skärsläckaren. Utformningen av släckfordonet bör övervägas ytterligare mot bakgrund av att erfarenheterna visar tydligt att skärsläckaren bör vara en del av den första insatsen.

De praktiska erfarenheterna från ett par hundra insatser i Prag överensstämmer i hög grad med dem som redovisats från Paris. Skärsläckaren i kombination med IR-kamera har visat sina fördelar i de flesta situationer eftersom den som regel är mer effektiv än de traditionella medlen, inte enbart vid allmän brandsläckning men också till exempel vid bekämpning av bränder under tak och i källare. Inte minst viktigt i Prags äldre centrala delar med kulturbyggnader är att släckmetoden vid insatser gett minimala vattenskador. Skärsläckaren bör i Tjeckien, där kravet i lagstiftningen är att första insatsstyrkan skall bestå av sex brandmän, utgöra en del av första insatsen med ett större släckfordon. Man kommer som regel inte att ha förutsättningarna för att bemanna ett andra mindre fordon på ett tidigt stadium av branden.

Strategisk plan

Utvecklingen av ny metod och teknik för släckning av brand har nu kommit så långt att det finns ett behov av att anta en nationell strategisk plan för användningen av skärsläckaren som bör behandla bl.a.:

- vägledning för räddningstjänsten i fråga om den taktik och metodik som aktualiseras av den nya metoden
- spridningen av material från undersökningar och försöksverksamhet samt praktiska erfarenheter
- insamling och spridning av information om utredningar från olika räddningstjänster
- redovisning för hur insats med skärsläckaren påverkar personalens arbetsmiljö i förhållande till användande av konventionella metoder
- informations spridning om hur metoden kan effektivisera räddningstjänsten och underlätta en bredare rekrytering till räddningstjänsten, t.ex. av kvinnor i högre grad än hittills



3. Insatser med skärsläckaren

I Sverige fanns 2008 omkring 120 skärsläckare, varav omkring 25 monterade i offensiva enheter och övriga i konventionella släckfordon och höjdfordon. På grundval av rapporterna från genomförda släckinsatser efter utlarmning med skärsläckaren (675 larm under perioden 2004 – 2008) har inom ramen för denna studie en sammanställning av erfarenheterna gjorts med fördelning på olika typinsatser. Antalet rapporter speglar i stort den spridning av insatser som normalt förekommer på olika typinsatser. Rapporterna omfattar insatser där skärsläckare använts främst mot brand i byggnad, men ett mindre antal rapporter avser användande vid bränder utomhus.

Skärsläckarens skärande egenskaper för att snabbt nå in till ett brandrum eller sidorum anges ofta i rapporterna som orsak till den valda metoden vid larmet. Risk för att ansamlade brandgaser skall antändas används ofta som skäl för att taktiskt välja skärsläckare och därmed kunna angripa genom byggnadskonstruktionen och uppnå en snabb påverkan på brandförloppet. Vid ett större antal larm påpekar räddningsledaren i insatsrapporten att den först anlända styrkan kunde påverka branden i startrummet samtidigt som skärsläckare sattes in i ett sidoutrymme eller i en takfot och på vinden dit brandgasspridning hade skett. Denna reflektion torde bygga på att insatsstyrkan 1+4 standardmässigt har påbörjat invändig släckning mot ett brandrum med rökdykargruppen. Om en konventionell utrustning på ett släckfordon är kompletterad med skärsläckare, anges att en följd är att två samtidiga invändiga släckinsatser kan påbörjas med den tillgängliga personalstyrkan.

Antalet lägenhetsbränder där skärsläckaren har använts är relativt få. Detta kan bero på att räddningstjänsten är dimensionerad och mycket rutinerad för denna typ av insats. Konventionella släcksystem och metoder anses förhållandevis snabba och effektiva. Angrepp mot brand i en lägenhet kännetecknas ofta av ett enkelt val av angreppsväg via trapphus, möjligheten att få hjälp av kringboende att snabbt lokalisera drabbad lägenhet och initialt liten risk för brandspridning. Insatsstyrkan kommer som regel snabbt in till brandutrymmet, avstånden kan vara korta inne i dessa byggnader och det anses vara en förhållandevis låg riskmiljö för brandpersonalen. För en normal lägenhetsbrand bedöms räddningstjänsten också vara väl rustad för släckning med konventionellt strålrör. Men ofta uppstår då betydande vattensador, rökskador i trapphus och risker med brandspridning via fönster upp till nästa lägenhet.

Det finns dock några larmrapporter från insatser där skärsläckare har använts vid lägenhetsbränder. I en del fall har det funnits en säkerhetsdörr vilket försvårat inträngning med konventionella metoder, och skärsläckare har då använts för att kyla brandgaser och dämpa brandutvecklingen under tiden som brandpersonalen brutit upp dörren, alternativt valt en annan angreppsväg (t.ex. fönster). Det har även funnits gallergrindar innanför lägenhetsdörrar vilket försvårat släckningen med konventionella metoder. Skärsläckaren har i sådana fall använts för att kyla brandgaser och begränsa brandutvecklingen under tiden som insatsstyrkan forcerat hindret.

En slutsats som kan dras efter genomgången av rapporterna är att underlaget, generellt sett och gällande skärsläckaren i synnerhet, för att göra en mera utförligt sammanställning av erfarenheterna från insatserna är relativt begränsat (det finns många insatsrapporter, men det stora flertalet är knapphändigt skrivna). I de fall då utförligt skriftligt dokumenterat material finns, har detta i många stycken endast beskrivit förutsättningar för personal och fordon samt det slutliga resultatet. I princip saknas alltid en analys av metodens lämplighet, effektivitet, m.m. Skall kommunal räddningstjänst kunna utvecklas, är det ett måste att nya metoder och teknik utvärderas och analyseras på ett mer systematiskt sätt i fråga om exempelvis metodens lämplighet, effektivitet, m.m. så att större förutsättningar för erfarenhetsutbyte skapas och därmed möjliggöra för räddningstjänstpersonalen att lära av varandra.

Typinsatser med skärsläckareⁱⁱⁱ

Brand i mindre byggnad (174 insatser)

Brand och brandtillbud av denna art omfattar exempelvis sommarstugor, förråd, containers o.s.v. Insatserna kan innefatta brandgaskylning och brandsläckning samt friläggning av material runt startbrand. Begränsade vattensador har noterats vid insatser med skärsläckaren vid bränder i vägg, tak, golv, torpargrund och trossbotten. Insatser mot bränder som orsakats av sprickor i murverk eller gnistor från skorsten, vilka varit svåråtkomliga med konventionella metoder, finns också rapporterade.

Brand i flerfamiljshus (88 insatser)

Flertalet av de bränder i flerfamiljshus där skärsläckare använts gäller vindsbränder och källarbränder men även bränder i pannrum, pellets-förråd och liknande. Skärsläckare har även använts i byggnader vid brandspridning från skorsten och murverk över till vägg, golv, tak och andra utrymmen.

Skärsläckare har använts för att penetrera och komma åt svåråtkomliga heta brandgaser eller heta ytor som branden skapat. Erfarenheterna från perioden 2006 - 2008 har gett en ökad insikt om hur vattenstrålen bör riktas mot

ⁱⁱⁱ Kortfattad redovisning av erfarenheter från typfallen

dessa heta områden för att få maximal ång- och släckeffekt. Tiden mellan vattenpåföringar och effekt varierar stort. Ibland uppmärksammas effekt omedelbart och andra gånger låter operatören vattendimman påföras i perioder från 10 sekunder upp till perioder på 30 - 40 sekunder. Det finns även insatsrapporter som visar att vattendimman påförts i perioder på flera minuter. Lång påföring kännetecknar ofta insatser i större volymer, såsom vind- och takkonstruktioner.

Brand i affärer, skolor och publika lokaler (166 insatser)

Bränder i affärer, skolor och publika lokaler som startar nattetid och där brandutvecklingen varit snabb och omfattande, t.ex. skolbränder. Dessa misstänks ofta vara anlagda. Räddningstjänsten har anlänt till platsen och mötts av en omfattande brand där spridning in i byggnad och upp i takkonstruktion redan skett. Erfarenheterna visar ett stort behov av effektiva släckmetoder och snabbhet. Vid enplansskolor med brandutsatt vindsutrymme har omfattande släckning skett med hjälp av skärsläckare, och man kan konstatera efteråt att vattenskadorna helt uteblivit i många av dessa fall.

Brand i industrier (74 insatser)

Vid brand i industrier kan en större spridning av situationer där det varit naturligt att använda skärsläckare observeras. Bl.a. har ansamlade stora mängder brandgaser i industrilokaler varit skäl för att skärsläckare satts in. Rökdykarinsats har ej igångsatts innan kontroll av brandgastemperatur har uppnåtts. Vid risk för ras och kollapsad takkonstruktion har skärsläckare av säkerhetsskäl satts in från utsidan. Skärsläckare har även använts i samband med misstanke om att det finns gasflaskor inne i brandutsatt byggnad. Rökdykarangrepp har då kunnat undvikas fram till dess att klarhet uppnåtts.

Andra exempel på användning av skärsläckare rör brand i ventilationsanläggningar där effekter av insatsen har uppnåtts på långa avstånd samt bränder i maskiner och utrustningar där startbranden varit dold och svåråtkomlig. Ett antal exempel finns på tillämpning taktiska metodval som klart skiljer från tidigare traditionell taktik vid industribrand, således har övertrycksventilation och skärsläckarinsats från utsidan ersatt rökdykarinsats som släckmetod. Vid många tillfällen har räddningstjänstpersonalen efteråt reflekterat över det uppnådda goda resultatet vid jämförelse tidigare förekommande liknande bränder som bekämpats med konventionell släckning.

Brand utomhus (69 insatser)

Exempel redovisas på skärsläckarinsats som berör skogsbränder, gräsbränder, bränder i virkesupplag, markbränder efter blixtnedslag samt bränder i halmbalsupplag och pappersupplag.

Brand / bilar / Transportnät (35 insatser)

Exempel på insatser med skärsläckare utgörs av brand i bulktransport (säd, pellets), brand i biltransportfordon och skördetröska, på fartyg, i personbilar, lastfordon, lastbilsdäck och buss.

Mer detaljerad redovisning av tre exempel på skärsläckarinsats

I det följande presenteras tre olika exempel av genomförda insatser inom SÄRF:s geografiska ansvarsområde, nämligen i Svenljunga, Borås och Ulricehamn, med ambitionen att visa hur olika räddningstjänster arbetar med skärsläckaren och andra metoder. Primärt är rapporterna (uppgifterna i dessa härrör från personal i respektive insatsstyrka) tänkta att bli lästa av personalen inom den egna organisationen. Därför förklaras inte sådant som, t.ex. vilken typ av fordon som använts, eftersom det anses som självklarheter för personalen. Den personal från räddningstjänsten som finns på plats är i princip alltid där för att begränsa skador på människa, miljö och egendom samt fullt upptagen med den uppgiften. Olycksförloppen framgår ändå någorlunda klart.

Brand i flerbostadhus i Svenljunga

Kl. 14:04 inkommer larm till SOS Alarm: Förmodad lägenhetsbrand, rökfylld lägenhet. Flerfamiljshus i två våningsplan, branden på andra våningen. SOS Alarm har inga uppgifter om eventuella kvarvarande personer inne i lägenheten.

Kl. 14:06 åker första enheten ut från Svenljunga: Byggnaden är ett 60 m långt tvåvånings flerbostadshus med 12 lägenheter, tre trapphus och inga avskiljningar på vinden.

Kl. 14:09 första enhet är framme: Styrkeledaren springer runt byggnaden och ser att fönstret vid baksidans balkong spruckit av värme. Lågor slår ut genom fönstret och träffar takfoten. Mycket folk har nu samlats runt fastigheten och räddningstjänsten har svårt att komma fram. Förstärkning begärs via P100. Tranemo och Borås larmas. Brandpersonal beordras in i byggnaden och upp till andra våningen genom trappuppgången. Rökdykarangrepp in i lägenhet beordras. När dörren till lägenheten öppnas, väller svart brandgas ut, och rökdykarna ser kraftig brand inne i lägenheten. Gruppen får retirera snabbt omkring två meter för att komma undan hettan och utströmmande brandgas. När första trycket lättar, forcerar rökdykargruppen in i lägenheten och påbörjar släckning i kök och

vardagsrum, samtidigt utrymmer resterande brandpersonal angränsande lägenhet. På utsidan av byggnaden har nu branden fått fäste i takfoten.

Kl. 14:22 är Tranemos deltidsenhet är framme och påbörjar yttre släckning av takfot på långsida från stege med smalslang och dimstrålrör. Effekten är begränsad och branden ökar på vinden. Ytterligare en stege reses på gaveln närmast den brandutsatta lägenheten. Med strålrör och genom ett upptaget hål genomförs släckförsök mot den ökande vindsbranden, Effekten är begränsad till 6 - 8 meter in på vinden och branden fortsätter att öka i takets förlängning. Tranemos deltidsenhet får stöd av Limmared-enheten som också larmats, vilket medför att Tranemos deltidsenhet kan igångsätta sin skärsläckare via balkongen på baksidan upp in i takfoten. Effekt av denna insats märks pga. vinkeln mot undertaket upp i mellantaket. Strålen får dock en gränsad möjlighet att brytas up och sprida sig och därmed påverka den brand som nu sprider sig på vinden.



Bild 1 Arbete med skärsläckare

Kl. 14:49 anländer Borås heltidsenhet anlände med släckbil 102 och höjdfordon 103, som har skärsläckare. Höjdfordon 103 med skärsläckare ställs upp på borte gaveln i förhållande till branden och påbörjar släckning med skärsläckaren, se **Bild 1**. IR-kamera används av brandpersonal på marken för att scanna av byggnaden och klarlägga förändringar av branden under släckinsatsen. Höjdfordon 103:s skärsläckare får en mycket bra släckeffekt på den del av vinden som brandspridningen nått. Beakta att byggnaden är 60 m lång. I detta läge har branden brutit igenom taket ovanför den brandutsatta lägenheten. Under skärsläckarinsatsen uppmärksammades en snabb förändring från kraftig svart brandgas, som strömmar ut från taknock och takfot och snabbt nästan upphör och en

förändring av färgen på brandgasen till gråvitt, sedan får gasen ett vitt ånglikt utseende. Ångan fortsätter att fylla utrymme och strömma ut genom öppningar. Släckinsatsen avslutas med skärsläckare tillsammans med befintliga strålrör.

Styrkeledaren från Borås uppger att släckinsatsen kompletterades efter ett tag med en håltagning på mitten av byggnaden för att förkorta släckavståndet. I en avslutande analys har samma styrkeledare den uppfattning att detta hål ej hade behövts för att uppnå full släckeffekt. ”Vi kunde konstatera att branden redan var släckt när vi öppnade upp.” **Bild 2** nedan är en översiktssbild av brandplatsen.



Bild 2 Överblick av brandplatsen.

Den totala tiden för släckning med skärsläckaren på höjdfordon 103 uppskattades till en timma. Släckningen genomfördes i perioder från 10 - 15 sekunder upp till 40 - 50 sekunder. Rörelser med handlansen användes endast korta perioder. Bäst effekt uppnådes när en rak stråle/vattenkon fick arbeta och skapa lång effekt in i vindsutrymme genom brandgas och lågande brand. För att undvika att strålen skulle slå i byggnadsdelar och takstolar och därmed minska effekten samkörde operatören och säkerhetsmannen som hade IR-kamera och position på marken vid byggnadens långsida. IR-kamera kan också användas från en högre position med skylift för att skanna av värme och uppnådd släckeffekt 10 - 15 meter ovanför taket. Med hänsyn till byggnadslängden fick skärsläckaren en avgörande betydelse trots att insatsen med denna på släckbil 103 sattes in först efter ca. 27 minuter efter det att första enheten var på plats.

Brand i Industri, Rami Metall, Borås

Den 24 januari 2009 inkommer automatlarm från en industri vilket leder till "Litet larm", en släckbil med 1+4.

Tre minuter före framkomsten, kommer besked om att alla är ute ur lokalen men att det brinner för fullt lokalen. Resterande styrka larmas ut och kommer på plats efter 10 min. Med den nya informationen bestäms att insatsen skall påbörja med skärsläckaren för att kyla brandgaser. Vid framkomst ryker det från en del av industribyggnaden. Personalen från det drabbade företaget informerar räddningstjänsten om att det brinner på golvet och att de försökt släcka med handbrandsläckare men inte lyckats. Lokalen det brinner i är cirka 60 m. lång och 20 m. bred och har en takhöjd på 7 m. Lokalen är en del i en större industribyggnad som är 110 x 60 m.



Bild 3. Exempel på angränsande utrymme som satts under övertryck.

Svarta brandgaserna tränger ut ur byggnaden. Eftersom inte brandgaserna är pulserande eller omfattade tas beslutet att undersöka temperaturen i lokalen. Rökdykarledaren får därför i uppgift av styrkeledaren att mäta temperaturen med hjälp av IR-kameran och bedöma vilka riskerna är vid en rökdykarinsats, samtidigt sätts en angränsande lokal till brandrummet i övertryck, **se bild 3**, och skärsläckaren tas fram. Ett slangsystem byggs upp.

En rökdykare får i uppgift att öppna dörren lite på glänt och mäta med IR-kameran upp mot taket och in i lokalen. Det konstateras att temperaturen är

omkring 100 grader vid taket. En riskbedömning görs – konstateras att temperaturen är låg - och sedan fattas beslut om att genomföra en rökdykarinsats.

Rökdykarna får order att bara gå innanför dörren och kyla i taket samt sedan skanna av med IR-kameran och rapportera. När rökdykarna kommit in i lokalen kan de visuellt och med hjälp av IR-kameran se en mindre brand på golvet men upptäcker hög temperatur i ventilationssystemet. Rökdykarna får order att gå högst fyra meter in i lokalen för att komma åt branden på golvet. Rökdykarna släcker branden med hjälp av strålrör samtidigt som det förbereds för övertryckventilation och luft blåses sedan in så att sikten förbättras.



Bild 4 Visar den brandutsatta lokalen. I överkanten av bilden syns den ventilationskanal ditt branden spred sig.

Rökdykarna tar skärsläckaren och punkterar ventilationssystemet på fyra olika ställen och släcker även den branden. Övertryckventilationen pågår till dess att branden är helt släckt.



Bild 5 visar var branden startade och den kanal där branden spred sig upp till ventilationssystemet.

Skadorna begränsades till ventilationssystemet och verksamheten kunde fortsätta, **se bild 4**. Ventilationsutsuget på golvet, där branden började, hade sugit upp branden i ventilationssystemet, **se bild 5**. Branden kunde släckas effektivt med hjälp av skärsläckaren och IR-kamera utan att ventilationstrummorna behövde rivas. Drygt en timma efter framkomst kunde räddningstjänst avslutas och ansvaret lämnas över till fastighetsägaren.

Brand i byggnad på Karlsnäsvägen i Ulricehamn

En brandman som arbetar i Borås hade gått av sitt skift på morgonen den 7 februari 2009. När han passerar Ulricehamn, ser han att det kommer svart rök från en större byggnad. Han ringer 112 och larmar. I byggnaden finns två verksamheter, en som säljer byggnadsvaror och en motorcykelaffär med tillhörande verkstad. Han åker fram till platsen och konstaterar att branden är beläggen i motorcykelfirman och ser att samtliga fönster är svarta och att plåtar mot bygghandeln är nedsotade av svarta brandgaser. Han hör att rutorna på insidan av fönstren till MC-firman går sönder.

Kl. 08:38 inkommer larm till räddningstjänsten om brand i en byggnad på Karlsnäsvägen i Ulricehamn.

Kl. 08:45 är första styrkan Ulricehamns deltidskår som består av sex brandmän och en styrkeledare på plats. Ulricehamns deltidskår har med sig

släckbil 601 med skärsläckare, IR-kamera och PPV-fläkt, höjdfordon 603 och tankfordon 604.

Kl. 08:46 lämnar befälet för Ulricehamn-styrkan en lägesrapport där han meddelar att branden är belägen i motorcykelfirman och att risken för spridnings till bygghandeln är stor.

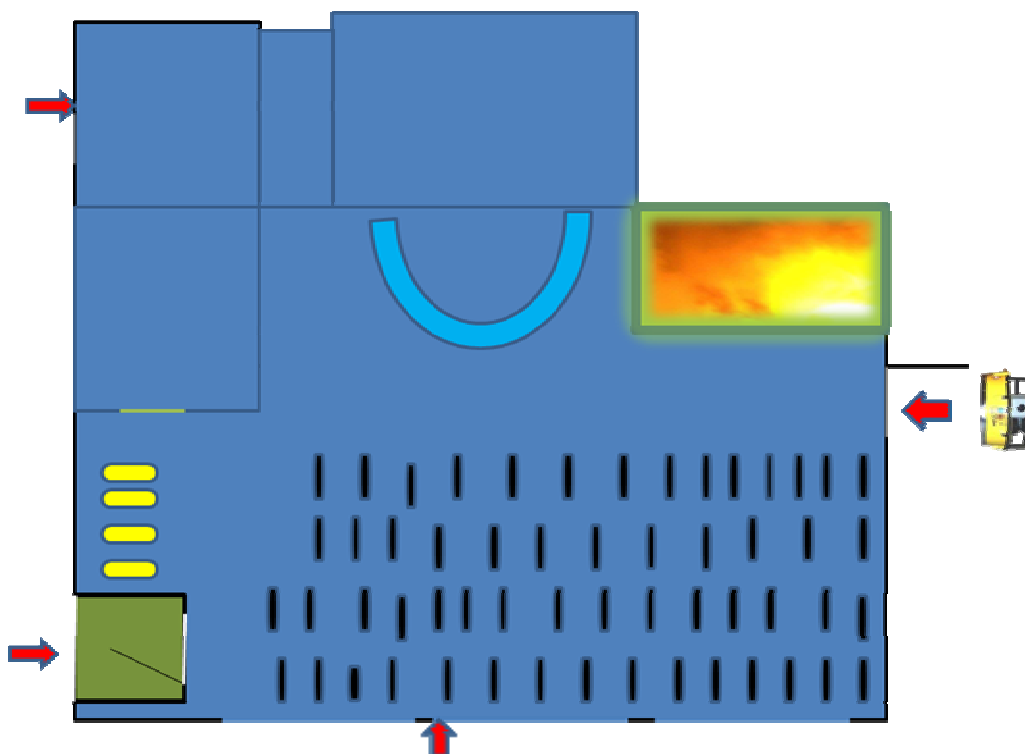


Bild 6 visar den brandutsatta lokalen (15 x 8 m). De röda pilarna visar var skärsläckare sattes in. De svarta strecken är motorcyklar.

En riskbedömning för rökdykning görs snabbt. Det finns inget som tyder på att någon person finns kvar i lokalen. Lokalen är full med motorcyklar som väger upp till 250 kg och som står tätt packade, cirka 50 stycken, (se bild 6 för överblick) och temperaturen i lokalen är hög. Vidare är sikten i lokalen mycket begränsad. Detta sammantaget gör att riskerna anses för stora för invändig släckning med rökdykare.

Beslutet blir yttre släckning med skärsläckare i syfte att begränsa och fördröja brandspridning. Personal klär sig ändå för att kunna genomföra rökdykning. Personal från släckbil 601 får till uppgift att kyla brandgaser med skärsläckare, först på framsidan mot Karlsnäsvägen samt därefter norra gaveln och södra sidan vid dubbelporten.



Bild 7 visar brandlokalen. I bakgrunden syns den röda byggnaden som används som lager för trävaror

Kl. 08:50 anländer ytterligare en deltidsstyrka som får i uppgift att ta sig in på bygghandel för att orientera sig och kontrollera eventuell brandspridning mot trävarulagret samt för att kunna säkra eventuellt genomföra släckinsats från baksidan. Ett slangsystem läggs ut mot baksidan för att användas till skydd av byggvaruhusdelen och begränsning av elden. En brandman tilldelas denna uppgift inledningsvis.

Kl. 08:57 anländer ledningsfordon med insatsledare från Borås.

Kl. 09:08 öppnas dörren till brandrummet för att påbörjar ventilering av brandgaser med fläkt från butik och verkstad via gångdörr och fönster i butiken (se **placering på bild 6**). Skärsläckare används samtidigt som fläkten är igång och sikten förbättras. I och med att sikt och temperaturförhållande förbättrats till följd av insatsen med skärsläckare och fläkt, görs en ny riskbedömning som resulterar i att invändig släckning är möjlig. Skärsläckaren stängs av när rökdykarna tränger in för att ta hand om glödbränder i tak och på andra ställen. Rökdykare sätts in i brandlokalen omkring 25 minuter efter det att insatsen startade.

Kl. 09:15 Förstärkning anländer från Borås i form av en släckbil med 1+4. Personal från släckbil 101 klär sig med rökskydd med hängande mask som backup och påbörjar friläggning av taket ovan butik. Skärsläckare används i krypvind med tillsatts av skum. Värmeamera används kontinuerligt under hela insatsen.

Kl. 09:30 Fläkten flyttas från södra sidan till norra sidan för att eventuellt få ökad effekt. En fläkt sätts även in i sidolokalen, som saknar frånluftsöppning så fläkten placeras en bit in i rummet.

Kl. 09:44 Meddelar räddningsledare att branden är släckt men att det finns behov av bevakning och eftersläckning.

Analysen av de tre exemplen

Vid branden i flerbostadshus i Svenljunga användes skärsläckaren aktivt under insatsen och förutsättningarna var goda för att uppnå ett bra resultat. Utrymmet var begränsat ventilationsmässigt och hade en hög temperatur inledningsvis vilket möjliggjorde bildandet av vattenånga. Förmodligen har inertering med vattenånga av gasen varit den dominerande processen vid släckningen i den 60 m långa byggnaden. Värt att notera är att en större volym, såsom i detta fall, inte var begränsande utan det gällde att vattendimma behövde påföras under längre tid för att få ökad effekt.

Beskrivningen av branden i Rami metallindustri i Borås visar på olika kritiska faktorer som är aktuella då användning av skärsläckare bedöms, ansamlade brandgaser, brandgasernas temperatur och brandens belägenhet. Inledningsvis användes inte skärsläckare på grund av att temperaturen var för låg vilket mättes med IR-kamera. Användningen av skärsläckaren påbörjades när branden på golvet hade släckts och genomfördes för att släcka branden i ventilationskanalen som bara kunde nå inifrån lokalen. Beskrivningen visar också behovet av att alltid använda IR-kamera tillsammans med skärsläckaren vid insats.

Branden i byggnaden på Karlsnäsvägen i Ulricehamn visade hur skärsläckare kan användas tillsammans med övertrycksventilering och kan förändra förhållandena i brandrummet så att invändig släckning blir möjlig. Övertrycksventilering som eget metodval är möjlig men i kombination med skärsläckare blir den säkrare eftersom skärsläckaren sänker temperaturen. Denna insatsbeskrivning visar på behovet att arbeta med IR-teknik för att kunna lokalisera var skärsläckare ska sättas in. Beskrivningen visar också på den stora fördel som kan uppnås när tre metoder/verktyg kombineras för att uppnå en effektiv släckning.

Anlagd brand i stort industrihotell på Trandaredsgatan i Borås

En särskild redovisning görs av denna brand i ett stort industrihotell med minst 15 företag som fordrade mycket stora resurser, omkring 100 personer från 12 kårer under totalt 855 timmar, och som visar betydelsen av att genomföra insatserna med väl utvecklad taktik och kunna hålla begränsningslinjerna. Om branden fått sprida sig via en öppen branddörr till höglager och övriga brandceller, hade troligtvis hela fastigheten blivit mer eller mindre brand-, rök- och vattenskadad. Det fanns brister i brandcellsgränserna längre bort i fastigheten mot lokaler med hög brandbelastning. Den av rök, brand och vatten skadade ytan beräknas till 2.900 m² av en totalyta på ca. 10.000 m².

Det goda resultatet kunde uppnås med stöd av ny teknik och nya metoder i form av skärsläckarkonceptet tillsammans med övertrycksventilation, insatta

från utsidan av brandrummet. Mycket stora värden räddades genom insatsen. Skadekostnaden har beräknats till 25 miljoner på fastigheten och till 20 miljoner för inventarier. Värdet på hela fastigheten beräknas ha uppgått till 80 miljoner, varav inventarier till 50 miljoner och avbrottskostnaden skulle ha blivit 20 miljoner vid en totalskada. Vid denna insats räddades således värden för över 100 miljoner.

Kl. 02.23 inkom larm om något som brinner utomhus. Anmälaren ser flammor och hör knaster men kan inte ange exakt plats. Ett släckfordon med 1+4 sänds till platsen.

Kl. 02.24 anlände släckfordon 101 och det konstaterades: Brand i tre personbilar som står i omedelbar närhet av ett industrihotel. Branden har även spridit sig till närliggande lokal via stora portar. Branden, förstärkning behövs. Släckning av personbilar på utsidan av byggnaden påbörjas och försök görs att begränsa den brandutvecklingen inne i byggnaden. Styrkeledaren begär förstärkning från station med insatsledare, hävare och tankbil, totalt ytterligare 5 man.



Bild 8 visar byggnadens framsida

Bedömning av situationen: Brandobjektet är ett industrihotell med flera huskroppar sammanbyggda och med en sammanlagd yta på ca 10 000 m² med bl.a. ett stort höglager. Det finns risk för att det skulle finnas gasflaskor i byggnaden. Ett antal bilar och byggnaden har skadats och det föreligger ett hot för brandspridning till intilliggande lokaler. Släckresurserna bedöms vara för små för att slå ner branden och inriktas istället på att försöka begränsa branden till den drabbad huskroppen. Insatsen genomförs med höjdfordon med skärsläckare mot takbranden, yttre släckinsats med strålrör, övertrycksventilation och skydd av angränsande lokaler med den

räddningsstyrka som finns tillgänglig, dvs. 1+4. En förstärkningsstyrka bestående av 1+4 anlände inom ca. 6 minuter efter det att förstärkning begärts. Släckningen beräknas till minst 6 timmar och upp till 12 timmar. Den taktiska inriktningen är att begränsa brand och brandgasspridning till angränsande lokaler och fastighet samt skydda mot takbrand.

Kl. 02.29 Rapporterade styrkeledaren att gasflaskor kunde finnas i byggnaden och att passiv insats därför skulle genomföras. Polisen skulle spärra av 300 meter runt byggnaden. Prognosen var att insatsen varar hela natten och en bit in på nästa dag.

Kl. 02.30 begärde insatsledaren under framkörningen att OP chef ska larmas och att förberedelser görs för resursförstärkning till brandplatsen.

Kl. 02:32 kom släckbilarna 109, 103 och 104 fram.

Kl. 02.33 Insatsledaren, tillika Räddningsledare, begärde ut ytterligare en enhet med skärsläckare för att göra insats med dessa och angav den taktisk inriktningen: brand och brandgasspridning till sidolokaler skall begränsas samt skyddsåtgärder vidtas för att förhindra brandspridning till yttertak. Metoden skall vara aktiv insats mot branden med skärsläckare, traditionella strålrör och backupprör (1000 l/m). Ansamlade brandgaser i brandlokal skall kylas med vatten från skärsläckare, därefter skall samtliga angränsande lokaler sätts med övertryck från motordrivna fläktar.

Nedan redovisas användning av motordrivna PPV-fläktar och skärsläckare i byggnaden.

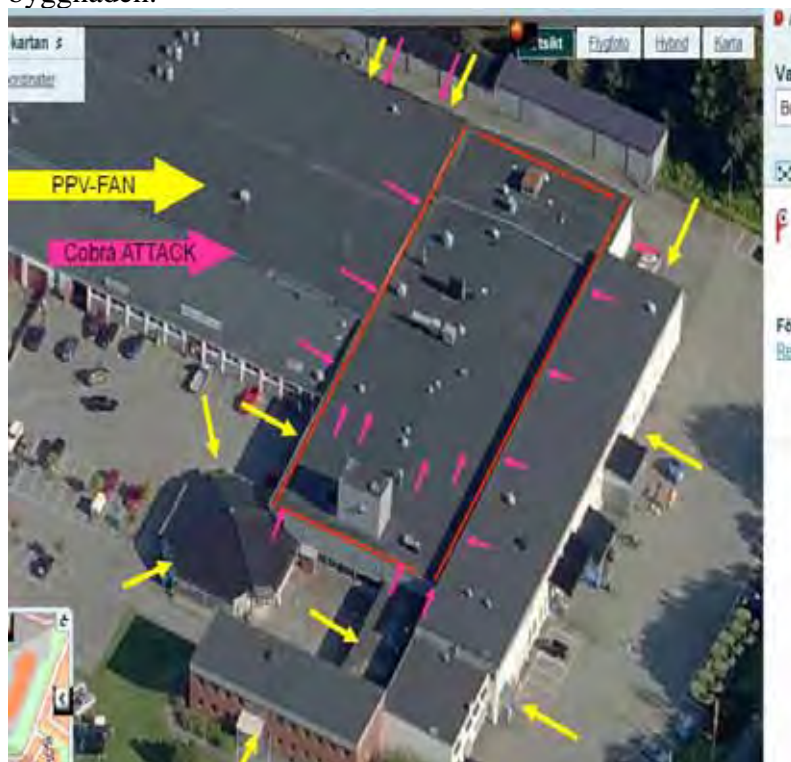


Bild 9 på metoanvändning utöver konventionella strålrör

På grund av osäkerhet om gasflaskor, rasrisk i pallställage och försvagning av byggkonstruktion till följd av branden genomförs ingen invändig rökdykarinsats. Släckfordon 101:s personal fortsätter med släckåtgärder men skall iaktta försiktighet och ej vistas framför portar och gavel där gasflaskskyltar finns uppsatta. När man lyste med handstrålkastare in i grannlokalen, där sikten endast var 5 - 6 meter, upptäcktes pallställager med kartonger och brandgaser som fyllde lokalen från tak och nedåt. Väktare som kom till platsen uppmanades att skaffa fram nycklar, information om verksamhet i de olika lokalerna i byggnaden och uppgifter om det fanns gasflaskor eller inte i lokalen där skyltar som varnade för gasflaskor fanns uppsatta på utsidan av byggnaden. Sektorindelning genomfördes enligt bilden nedan.

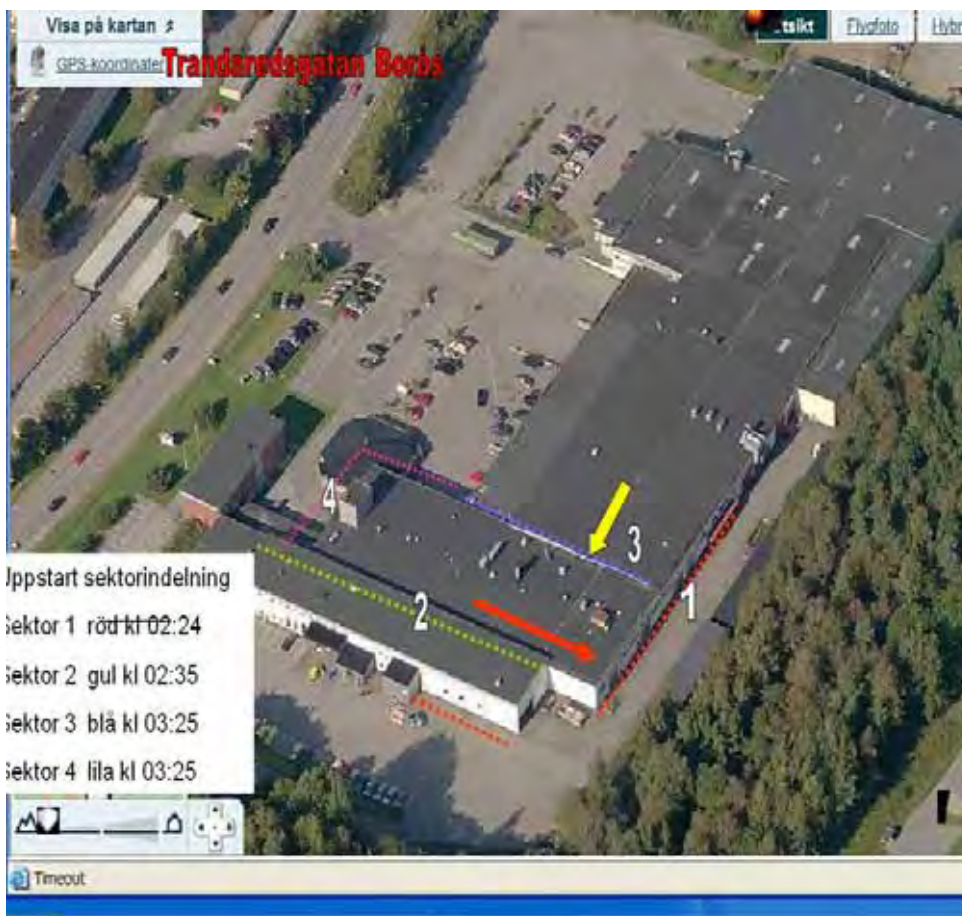


Bild 10 visar sektorsindelningen

Kl. 02.38 lämnade insatsledaren informationen att insatsen kräver fler släckresurser och höjdfordon samt att den skulle komma att bli långvarig, minst 6 - 8 timmar. Vidare lämnades lägesrapport och taktisk inriktning: objektet är ett industrihotell med ett flertal huskroppar sammanbyggda. Risk föreligger för gasflaskor i sidolokal. Utvecklad brand förekommer i flera bilar och i byggnaden och risk föreligger för brandspridning till övriga byggnader. Det har beslutats att begränsa branden till den drabbade huskroppen. Insatsen skall genomföras med höjdfordon och skärsläckare,

övertrycksventilation av grannlokaler, yttre släckinsats och skydd för brandspridning till grannlokalen och taket. Prognosen är att släckinsatsen skulle ta minst 6 timmar och upp till 12 timmar.

Kl. 02.40 visar en analys av läget och övervägande av metodval mot bakgrund av, resurser, brandspridning, byggnadsstorlek och konstruktion att det fortfarande inte var någon märkbar släckverkan från den yttre släckningen med strålrör in i brandrummet vars djup det var svårt att se. Pallställage hade rasat, och branden hotade att försvaga vägg- och takkonstruktion. Brandspridningen var både horisontell och vertikal. Brandgasspridning hade skett till sidoutrymmen och brandgaserna hotade att antändas.

Fortfarande gavs högsta prioritet åt att stoppa brandgas och brandspridning in till sidoutrymmen med motordrivna fläktar samt kylning av brandgaser med skärsläckare. Brandens spridning till mellanliggande inner- och yttertak försvårade släckning, ingen fick beträda takkonstruktion ovanför brandrummet. Branden stängdes nu in på tre sidor till följd av räddningstjänstens åtgärder. Behov av att skydda med insats från baksida mot gata förelåg men personal och släckresurser saknades vid detta tillfälle. Höjdfordon nådde inte in över takkonstruktionen till den brandutsatta byggnaden. Temperatur-scanning av takets ovansida med IR-kamera gjordes från höjdfordon 103. Utefter hela takfronten var värmespridningen hög och branden hade fått fäste i takkonstruktionen. Det förelåg risk för spridning av branden via takpapp över till nästa sidobyggnad, på både den norra och södra sidan. Den brandutsatta byggnadskroppen var 35 x 85 meter, varav halva ytan var involverad i brand. Taket till denna byggnad bestod av en 1 m hög konstruktion med råspont och takstolar av trä. Anländande styrkor informeras om att säkerhetsavstånd skulle upprätthållas tills risken på risken på grund av eventuella gasflaskor i byggnaden hade eliminerats eller kunnat avfärdas.

Kl. 03:25 anlände nya sektorchefer och avlöste styrkeledarna på platsen. Styrkan skulle bistå med flyttning av hotade personbilar men pga. personalbrist stoppades evakueringen av personbilarna som stod på bakgården eftersom fortsatt trycksättning måste ske. Sektionscheferna fick i uppdrag att kontrollera intilliggande och hotad lokal intill brandrummet för att bedöma behovet av ytterligare insatser. Storlek på den brinnande byggnadskroppen bedömdes uppgå till 1 500 m² av totalt ca. 10 000 m². Det uppmärksammades att takbranden inte tog sig igenom takpappen (Kommentar: taket hade belagts om med Tribolit SBS 5500 R 01 vilket är en brandhämmande produkt som ska förhindra brandspridning).

Kl. 03.33 togs kontakt med fastighetsförvaltaren som skulle kontakta de olika företagen i fastigheten och försäkringsbolagen.

Kl. 03.34 Lägesrapport: Det brinner på baksidan av byggnaden, i takkonstruktionen och det ursprungliga brandrummet. Hotade sidolokaler blir trycksatta.

Kl. 03.38 flyttades personbilar som stod uppställda utefter husfasaden till säker plats, avsikten var att minska risken för brandspridning via dessa bilar.

Kl. 03.40 framkommer att det inte finns några gasflaskor eller installationer med gasledningar i byggnaden.

Kl. 03.42 kontaktas restvärdesledare som åker till brandplatsen.

Kl. 04,00 Lägesrapport: Takbranden fortsätter med hot om spridningsrisk, behövs rökdykarförstärkning som taktisk reserv. Brandspridningen sker förhållandevis långsamt, branden öppnar inte upp taket och brandrummet tryckavlastas. Värmeutvecklingen i takkonstruktion ut mot gatan är stor. Brandspridning in till sidolokaler har förhindrats genom trycksättning och brandgaskylning (se beskrivning kl. 09.34).

Kl. 04.29 omgående behov av rökskydd till brandplatsen förelåg pga. brandspridning i takkonstruktionen och brandspridning till angränsande lokal.

Kl. 05.15 fortsatt brandspridning pågick och rökskydd och avlösning behövdes inom kort.

Kl. 05.41 begärdes fläktar och flygbilder till brandplatsen.

Kl. 05.45 övertrycksventilation förhindrade brandspridning, taket brann och ingen fick gå på taket. Postens del av byggnaden var intakt, och spridning hade skett i lokalerna mot gatan.

Kl. 07.43. branden fortgår i takkonstruktion.

Kl. 08.10 närvaro av personal från företag belägna i fastigheten ökade och restvärdesledare kontrollerade behovet av tillgång till lokaler för att flytta inventarier och datautrustning från hotade utrymmen. Postens personal flyttade hotade inventarier ut ur byggnaden. Svårigheter att upprätthålla trycksättning av sidoutrymmen uppstod pga. att personalen på plats öppnade dörrar och fönster utan att inse att tryckfall uppstod i lokalen och att rök kunde tränga in.

Kl. 09.35 beslutade sektorschefer och insatsledaren om fortsatt taktisk inriktning.

Lägesbeskrivning: Brandspridningen har stoppats mot sidolokaler i markplan och takkonstruktionen. Fortsatt trycksättning av sidoutrymmen sker med övertrycksfläktar. Fördröjande släckåtgärder har genomförts på taket till den branddrabbad byggnaden. Skärsläckare har använts vid punkteringar och genom uppsågade hål i takmaterialet, även flera dimstrålrör har använts genom dessa öppningar. En tydlig begränsad effekt har uppnåtts under denna period, men så fort släckningen upphör laddar

brandgastillväxten snabbt igen. Fortfarande föreligger spridningsrisk mot sidobyggnader via takanslutningen, därför fortsätter bevakning och släckning med dimstrålrör och skärsläckare längs dessa begränsningslinjer. Inblandning av A-skum i släckvatten i brandrummet hade övervägts men genomfördes inte.

Bilderna nedan visar att det var fråga om enstaka minuter innan antändning och brandspridning skett inne i denna lagerlokal som var fylld med pallställager och kartonger upp till tak. Trycksättning i tidigt skede medförde att branden stannade kvar inne i lokalen tills dörren blev stängd ca kl. 04.30



Bild 11 från lagerlokal intill brandrummet

Bilden nedan visar tydligt på väggen ovanför dörren att här pågått kraftig rökspridning in i lokalen och en antändning i pallställagret varit mycket nära. Hade branden fått sprida sig in i denna lokal så hade med största sannolikhet hela byggnaden brand och rökskadats eftersom det saknades resurser för att bekämpa en sådan stor brandyta.



Bild 12 visar tydligt på väggen ovanför dörren kraftig rökspridning in i lokalen ägt rum

Närliggande lokaler smittades med rök men efter att trycksättning genomförts blev dessa lokaler helt befriade från rök.

Kl. 09.45 kontaktades Sveriges Radio kontaktas om ett Meddelande till Allmänheten ”Stäng dörrar och fönster”.

Skuminsats i mellanliggande takutrymme har uteslutits på grund av:

1. Periodvis för högt brandgastryck i mellanliggande utrymme.
2. För stora ytor för att nå fram till brandfront.
3. Branden trycks från underliggande brandrum upp i mellantaket.
4. Mellanskum kommer med stor sannolikhet inte att fylla upp utrymmet under taket.
5. Säkerhetsrisker att beträda taket under en skuminsats.
6. Skuminsats stoppar andra samtida insatta metoder.

Taktiken som användes var att låta branden öppna upp i ytmaterialet i mitten av taket för att minska brand- och brandgastryck i mellanliggande takkonstruktion och därmed tryckavlasta brandrummet. Den aktuella typen av takpapp, Tribolit SBS 5500 R 01, har emellertid en brandhämmande funktion och ger en betydligt högre motståndskraft för genombränning än konventionellt takpapp av tjärpapps konstruktion. Med konventionell takpapp hade takbranden troligtvis mycket snabbt spridit sig till hela takytan, kanske inom 2 - 3 timmar och skapat svåra problem vid släckinsatsen eftersom det fanns upp till 9 lager med takpapp. Det kan

konstateras att efter 7 timmar hade branden spridit sig långsamt samt styrts av tillgången på syre och antändbara brandgaser. Släckinsatserna tryckte periodvis tillbaka branden och brandgasspridningen. Offensiva släckförsök genomfördes mellan kl. 06:30 och 09:30 i takdelen ovanför den del av byggnaden där branden i bottenplanet hade stoppats.

Kl. 09:50 genomfördes byte av Räddningsledare.

Kl. 10.30 Lägesrapport: Befälet som är ansvarig för avlösning får till uppgift att med hjälp av sektorcheferna inventera behovet av avlösning och beställa detta från den inre staben. Räddningsstyrka från Stor-Göteborg har satts in på taket. Objektet är indelat i fyra sektorer, och uppgifterna är att skydda/begränsa branden och rökspridningen under två timmar med samma intensitet.

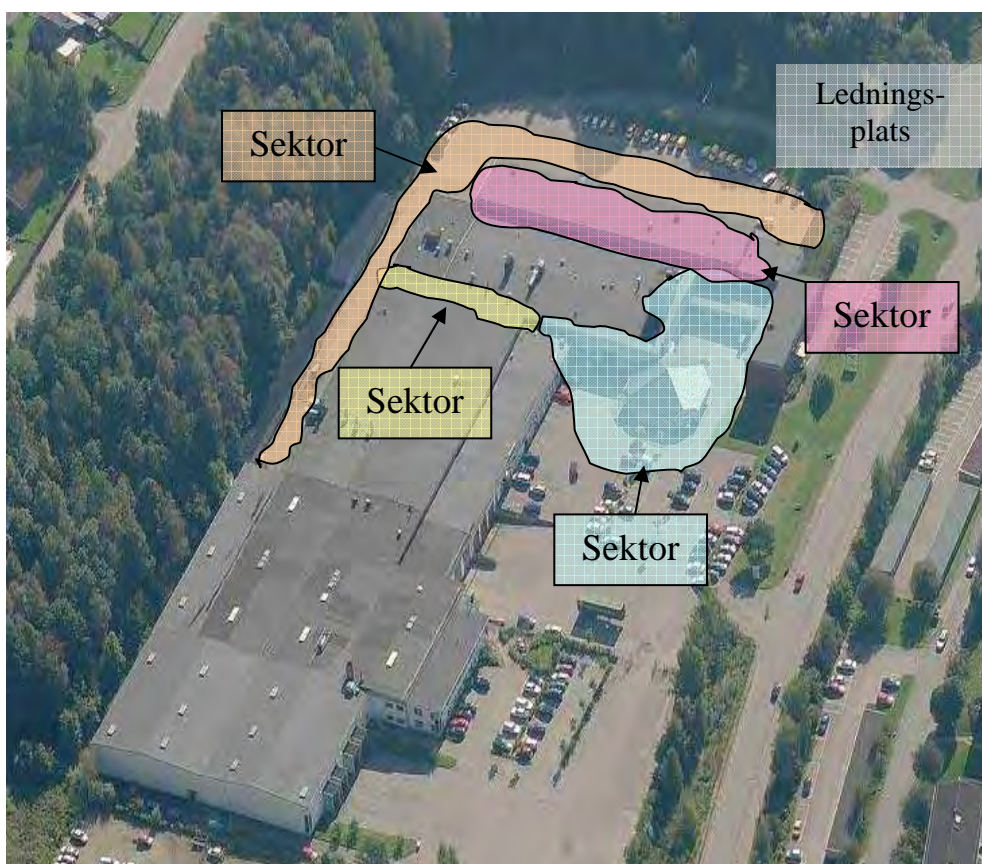


Bild 13 visar sektorsindelningen

Sektor 1: Taket ovanför Posten

Sektor 2: Markplanet och Posten invändigt vid sidan om brandrummet

Sektor 3: Gården vid bageriet

Sektor 4: Begränsningslinjen mot företag

Kl. 12.48 Lägesrapport: Personalbyten sker kontinuerligt, taktiken med begränsning håller. Det är mycket personal på plats och insatsen fortsätter i samma omfattning minst några timmar till. Bedömningen är att läget är

ganska stabilt men, för att säkerställa att begränsningslinjerna ska hålla, krävs nuvarande personalmängd ännu ett tag. Det är viktigt att hålla igång de fläktar som används för att hålla övertryck i de lokaler som gränsar till de brandbelastade utrymmena. Sektorcheferna ansvarar för detta, och de bekräftar att fläktarna gör stor nytta.

Kl. 13.15 Lägesrapport: Allt fortgår planenligt och intrycket är att insatsens styrkebehov kommer att reduceras framåt. Man hade tidigare under branden inte använt tillsatsmedel i släckvatten av skäl som tidigare räddningsledare redovisat men brandpersonal ville pröva att blanda i A-skum i släckvattnet på de brandhärddar som fortfarande finns inne i det brandhärjade lagret.

Insatsledare var positiv till detta förslag, och man skulle rätt snart se effekten av denna åtgärd. När detta hade genomförts minskade rökavgången från detta utrymme betydligt men avstannade inte helt. Efter ett tag ökade röken i intensitet igen och vattenbegjutning fick återupptas. På försök lades in detergentskum (expansionsgrad: mellan) i det svårsläckta mellantaket i hörnet vid anslutningen mot byggnaden som bl.a. inrymmer posten. Detta lyckades väl varför denna metod användes över stora delar av den brandutsatta takkonstruktionen. För att kunna lägga skum på lämpliga ställen utan att beträda taket, fästs skumröret på skarvstegar som skjuts ut över taket.

Kl. 21.03 kontaktades deltidstation för bevakning under natten från kl. 23:00.

Kl. 21:25 begärdes belysningsmateriell och elaggregat och meddelades att elden flammade upp igen mitt på den tidigare brunna ytan.

Kl. 23.00 genomfördes byte av räddningsledare genomförs, arbetet på brandplatsen övervakas av styrkeledare.

Kl. 23.15 inkallades heltidspersonal genom grupp-sms för arbete under natten för att avlösa jourstyrkan

Kl. 03.40 räddningsledaren var på plats mellan kl. 03.50 och 05.00 och kontrollerade takbranden från hävare med hjälp av värmekamera samt beslutade om släckning av större brandhård inne i lagerdelen.

Kl. 09.00 genomfördes byte av räddningsledare.

Efterbevakning och släckning av små brandhärddar förekom under dagen.

Räddningstjänsten avslutas kl. 16.00 dagen efter branden startat.

Översiktsbild på den brandhärjade fastigheten:

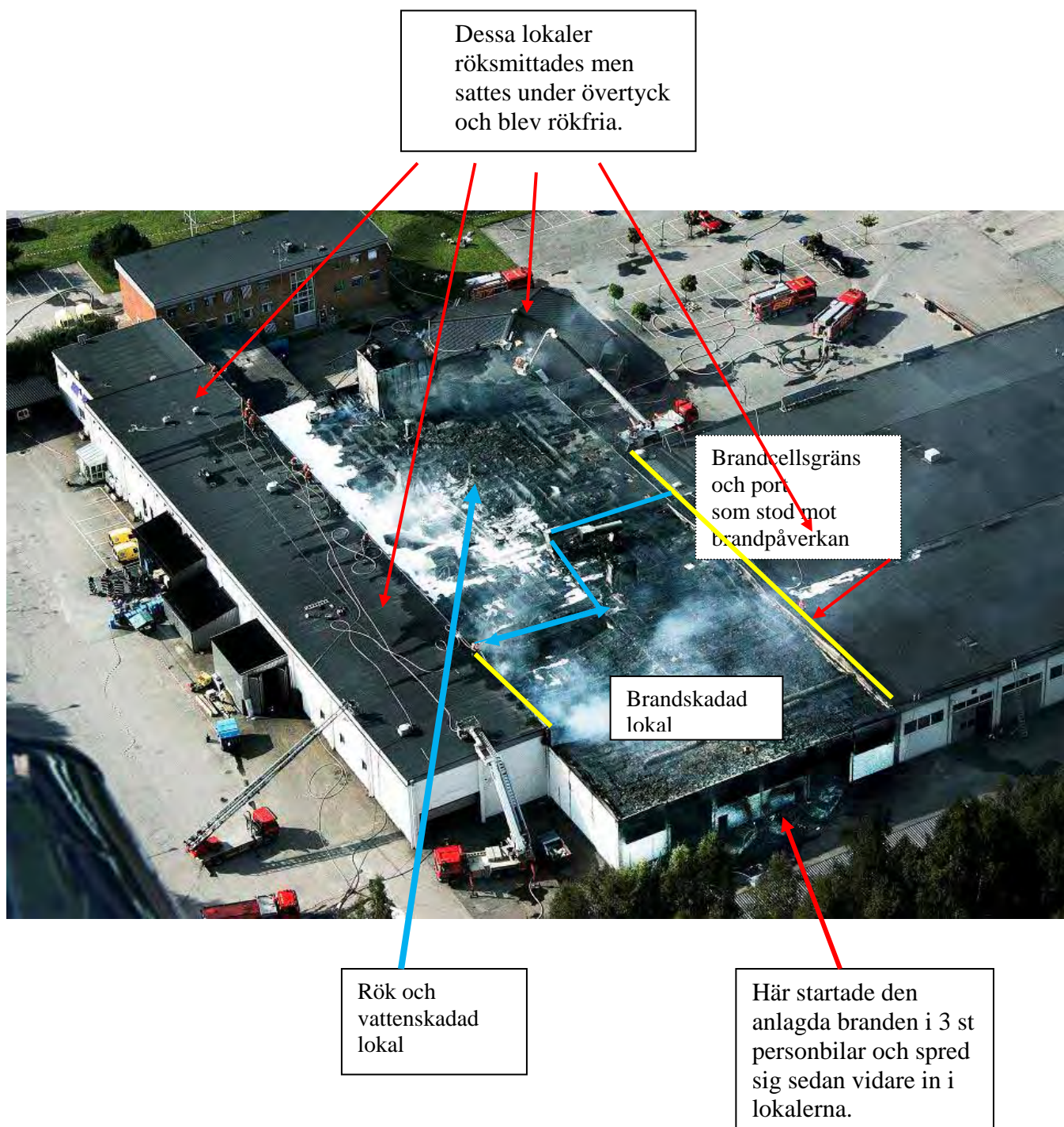


Bild 14 översiktsbild

Analys av branden i industrihotellet

Ett stor antal kritiska faktorer förelåg vid ankomsten av räddningstjänsten till platsen, anlagd brand i flera personbilar uppställda mot byggnadens fasad, brandspridning från dessa bilar in i byggnaden och upp mot takkonstruktionen samt brandgasspridning till intilliggande byggnader och

skyltar angav att det fanns gasflaskor i byggnaden. Situationen krävde ett stort mått av olika strategiska och taktiska metoder. Riskbedömningen medförde beslut om att inte genomföra invändig brandsläckning. Övertrycksventilation sattes in för att förhindra brand och brandgasspridning till sidolokaler. Skärsläckares sattes in för att kontrollera temperaturen och inertera ansamlade brandgaser i sidolokalerna i syfte att förhindra antändning och brandspridning. Även begränsningslinjerna säkrades med skärsläckare från en säker position med tanke på risker från gasflaskorna. IR-teknik användes under hela insatsen som beslutsstöd för övertrycks- och skärsläckaranvändningen. Insatspersonalen kunde redan på brandplatsen tidigt under insatsen konstatera att taktik- och metodval fungerade och begränsade skadeutvecklingen högst väsentligt. Sammanlagt bedöms värden för över 100 miljoner kronor ha räddats.



4. SÄRF:s erfarenheter

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund har lång erfarenhet av skärsläckaren och andra metoder för brandsläckning. Metodutveckling är viktigt för att förbättra brandsläckningen och skapa förutsättningar för olika slags insatser mot inomhusbränder. Det är inte alltid skärsläckaren eller rökdykning löser uppgiften vid bränder. Att ha många olika metoder och teknik att välja mellan ger större förutsättningar att lyckas med insatsen. Rökdykningen är ett arbete som förknippas med mycket stora risker för en brandmans hälsa och säkerhet. Rökdykning som förekommande metod medför att personalen utsätts för höga temperaturer med vätskeförlust som följd, vilket bl.a. kan medföra svårigheter att fatta logiska och riktiga beslut, men också för andra allvarliga arbetsmiljörisiker.

Det kräver utbildning i alla led för att förstå vilka möjligheter och begränsningar ny metod och teknik medför för få ut det bästa resultatet vid insatserna – se FIREFIGHT II presentationen släckning av rumsbrand inom 60 sekunder, försök vid SÄRF:s internationella kompetenscenter Guttasjön i Borås den 22 september 2009, **Bilaga 1**. Övningsanläggningar behöver förändras och anpassas till andra arbetssätt än bara rökdykning såsom ofta är fallet för närvarande. Den nya föreskriften från Arbetsmiljöverket AFS 2007:7, som började gälla den 1 april 2008, ställer större krav än tidigare på att genomföra säkra insatser och att arbetsmiljön är god.

Vid varje räddningstjänstinsats skall en riskbedömning göras. Med tanke på personalens säkerhet skall alternativa metoder till rökdykning väljas. Primärt är rökdykning en livräddande insats. Man kan minimera riskerna för rökdykarna genom att kombinera olika metoder, t.ex. för att skapa förutsättningar för att utföra livräddning. Med hjälp av en ökad flexibilitet att välja mellan olika metoder och teknik kan insatsen genomföras säkrare, snabbare och effektivare, vilket är SÄRF:s mål. Att kombinera användningen av skärsläckare vid släckning och livräddning med IR-teknik, övertryckventilation och rökdykning skapar således tidsvinster och en bättre arbetsmiljö samt minskar skador på egendom och miljön vid inomhusbrandsläckning.

Exempel på arbetssätt vid insats mot brand i medelstor lokal

Arbetssättet vid insatsen mot brand som utvecklats av SÄRF kan exemplifieras enligt följande:

- läs av värmeskillnader med IR-kameran på utsidan av byggnaden
- sätt in skärsläckare från utsidan mot den del av byggnaden som är varmast
- kyl och invertera de varma brandgaserna invändigt med hjälp av skärsläckare
- iaktta visuellt färgförändring på brandgaserna (från svart brandgas till vit ånga)
- använd IR-kameran för att se eventuella temperaturförändringar
- samtidigt med skärsläckarinsats som påbörjas direkt sker uppbyggnaden av den fortsatta insatsen. Vid större lokaler krävs längre påföring med skärsläckare, innan man uppnår effekt. Perioder från 15 sekunder och upp till flera minuter kan behövas. Får man ingen effekt flyttar man på sig och byter position tills man får en bättre träffbild mot brandgaser och heta ytor
- när temperaturen har sänkts och möjliggjort invändning insats kan PPV-ventilation igångsättas. Personalen kan då gå in i byggnaden i det luftflöde som PPV:n skapar

Ett annat arbetssätt kan vara att om man vet i vilket rum branden är belägen, sätta in skärsläckaren direkt mot branden och sätta angränsande utrymme i övertryck för att inte få spridning av brandgaser och vattenånga till övriga lokaler. När brandgaserna som strömmar ut blivit vattenånga kan rökdykare gå in för att göra en eftersläckning.

Dolda bränder kan vara besvärliga att få bukt med. Lämpligt är att fastställa var det är varmast med hjälp av IR-kamera, köra små korta intervaller runt det varma stället med skärsläckaren, gärna lite vinklat, och kontrollera resultatet med värmekameran. När det kallnat kan man bryta upp beklädnaden och undersöka om det är släckt. Under hela insatsen kan en övertrycksfläkt vara igång på låga varv och ventileras för att erbjuda en god arbetsmiljö.

Det finns många möjligheter att kombinera olika arbetssätt för att nå ett bra resultat. Ingen metod löser ensamt alla uppgifter och ju fler verktyg man har tillgång till och behärskar, desto större chans är det att man lyckas med sin insats – beakta föreskrifterna i AFS 2007:7.

Utbildning

Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund har bedrivit utbildning i användningen av skärsläckaren i cirka 10 år. Under de första åren var utbildningen i hög grad inriktad på teknik. Till en början sågs skärsläckaren främst som ett skärande instrument. I samband med försök med att skära öppningar, upptäcktes verktygets förmåga att kyla brandgaser och att släcka

brand. Den första handhållna lansen introducerades hösten 1999 vilket innebar helt nya förutsättningar för att använda skärsläckarkonceptet vid brandbekämpning. Det var framförallt förmågan att komma åt brand i utrymmen där konventionella släckmetoder inte är möjliga att använda som väckte uppmärksamhet.

Utbildningsplatser för skärsläckaren har varit Statens räddningsverks (SRV) skolor, numera Myndigheten för samhällskydd och beredskap (MSB), och en del lokala räddningstjänster, däribland SÄRF. SRV har genom flera olika projekt tillfört värdefull kunskap och erfarenhet som idag ingår i utbildningarna.

Om några generella slutsatser skall dras av de 10 år SÄRF har bedrivit skärsläckarutbildningen, med 8.500 personer som utbildats, kan man lyfta fram att det varit en stigande efterfrågan på utbildningen i och med att fler och fler räddningstjänster och andra myndigheter införskaffat skärsläckare. Det som SÄRF kan notera vid en tillbakablick är hur innehållet i kurserna har förändrats, från att i början handla om hur skärsläckaren rent tekniskt var uppbyggd och hur håltagning eller penetrering görs i olika material med mera till att behandla hur skärsläckaren används i ett sammanhållet koncept tillsammans med övertrycksventilering (PPV) samt IR-teknik för invändig släckning (se exempel på sådana insatser i kapitel 3).

I och med denna utveckling, har det uppstått ett behov av att bredda utbildningserbjudandena. De som leder en insats (vanligtvis befäl inom kommunal räddningstjänst) har nämligen andra behov i utbildningshänseende än de som ska operera direkt mot branden med skärsläckaren. Ibland kan det finnas behov av att anpassa utbildningen till exempelvis mindre släckenheter med mindre personal i de s.k. offensiva enheterna som skall kunna agera själva och i första hand fördröja ett brandförlopp tills förstärkningar kommer.

En annan sak som SÄRF har noterat i utbildningen under dessa år är att de lokaler och övningsanordningar som finns uppbyggda ofta inte är anpassade för att öva den taktik som skärsläckaren är en del av. Utbildningsanordningarna är ofta uppförda med syftet att kunna öva invändig släckning och livräddning i rökfylld miljö i form av rökdykning. Men dessa anordningar kan inte nödvändigtvis erbjuda erforderliga förutsättningar när man vill öva och visa skärsläckarens kylande förmåga speciellt i en byggnad med större volym. Här vill SÄRF hävda att det är en utmaning inför framtiden att anpassa utformningen av övningsanläggningar så att dessa kan användas effektivt för att öva med skärsläckare, IR-teknik och övertrycksventilering.

Slutsatser av analysen av SÄRF:s erfarenheter:

- **Skärsläckaren kyler effektivt brandgaser och bromsar upp brandförlopp samt inerte även brandgaser med låga temperaturer.**

- **Övertrycksventilation underlättas** tack vare skärsläckarens förmåga att kontrollera brandgaser innan ventilationen påbörjas.
- **Skärsläckaren möjliggör en snabbare uppstart** för att påverka brand och brandgaser vid en insats.
- **Skärsläckare ökar antalet släckmetoder** mot erkänt svåråtkomliga bränder, exempel i trossbottnar, tak och vindar.
- **Taktiska valmöjligheter har ökat markant** när man sammankopplar metoderna, IR-teknik, skärsläckare, övertrycksventilation och säker invändig släckning
- **Kvalitetsutbildning ökar användningsfrekvens och insatsens effektivitet** och skapar tilltro till skärsläckarens förmåga.
- **Vatten- och miljöskador i samband med brandsläckning har minskat betydligt** och i ett antal fall helt upphört efter att skärsläckare har använts.
- **Skärsläckaren förbättrar arbetsmiljön** för brandpersonalen i samband med invändig släckning.
- **Som metod har skärsläckaren höjt säkerhetsnivån** för insatspersonalen vid insats mot brand i byggnad.
- **Skärsläckaren kan kontrollera invändig brand och brandgaser, samtidigt som forcering pågår**



5. Vatten och vattendimmans släckegenskaper

Det är intressant och lite paradoxalt att mekanismerna för det troligen äldsta kända släckmedlet för bränder, nämligen vatten, har visat sig vara tämligen komplicerade att förstå och beskriva när vattnet används i form av vattendimma. Detta kan delvis förklaras utifrån det faktum att vatten tidigare oftast tillförts i så kraftigt överskott eller mängd att släckningen främst dominerats av vattnets förmåga att direkt kyla ner gas och ytor via kontakt och konvektion. Användandet av vattendimma skapad av skärsläckaren medför att den totala vattenmängden minskar radikalt samtidigt som vattnet utnyttjas mer effektivt till att kyla och interagera med gasfasen i brandrummet.

Genom förångning av vatten sänks partialtrycket av syre vilket bidrar till att branden släcks. Vatten uppför sig i detta fall nästan som en gas, jämförbart med exempelvis koldioxid när denna används i släcksystem. Emellertid bidrar även vattnets kylande förmåga och dess förmåga att absorbera strålning, faktorer som båda beror av droppstorlek, till att uppnå resultatet. Till detta kommer att introduktionen av vattendroppar med hög rörelseenergi i brandrummet medför en omrörningseffekt som också påverkar brandutvecklingen. Genom att variera droppstorleksfördelningen, rörelsemängd och vattenmängd påverkas olika delar av släckförloppet.

Detta kapitel försöker belysa de fysikaliska principer som styr inverkan av vattendimma vid brandsläckning. I det som följer har en del avsnitt gråmarkerats som kan anses vara mer teoretiskt svåra. Det är inte absolut nödvändigt att tillägna sig all teori för att kunna tillgodogöra sig övrigt innehåll men den har tagits med för fullständighetens skull.

Introduktion

Vatten har flera egenskaper som gör det utmärkt som släckmedel: en lämplig vätskefastemperatur för handhavande, ett högt förångningsvärde

och en hög värmekapacitet. Vatten är därutöver miljövänligt, vanligtvis lätt tillgängligt och billigt.

För att ge ett exempel: effektutvecklingen vid en övertändning i ett litet rum ligger kring 1-2 MW. Förångningsvärdet för vatten är ca. 2.3 MJ/liter, vilket betyder att om man lyckas förånga en liter vatten på en sekund har man absorberat all den värme som övertändningen genererar. Läger man till energin för att värma en liter vatten från t.ex. 25° C till 750° C har ytterligare 1.6 MJ absorberats.

En annan jämförelse kan göras mot hur mycket energi som produceras totalt vid en brand. Ett ”typiskt” bränsle som plast eller trä producerar 25 - 50 MJ/kg förbränt material, vilket kan absorberas av att förånga endast 10 - 20 liter vatten.

Emellertid måste inte all energi som utvecklas vid en brand absorberas för att branden skall släckas. Vissa författare hävdar att 30 - 60 % av den producerade energin behöver absorberas, medan andra har sådana typmått för släckning som 1.3 - 2.5 liter vatten per ”m³ lägenhetsbrand” för att släcka eller 4 - 6 liter ”per m² brandyta”, men stora variationer finns rapporterade från olika experiment.

Vattenbaserade släcksystem fungerar olika bra vid olika typer av bränder. Särskilt två krav på effektiv brandbekämpning är motsägelsefulla för vattenbaserad släckning: önskan om en snabb förångning och behovet av en god omblandning/mixning av brandgaserna samt vätning av brandytor och material. Snabb förångning åstadkoms lättast med hjälp av små droppar medan mixning/vätning lättast görs med stora vattendroppar.

Vattnets släckmekanismer

Generellt sett finns fyra mekanismer som kan bidra till brandsläckning då vatten används:

1. Nedkylning av varma gaser.
2. Nedkylning av bränsle och potentiellt bränsle.
3. Sänkning av syrekonzentration (inertering) genom bildandet av gasformigt vatten.
4. Absorption av strålningsvärme.

Punkt nummer tre blir naturligtvis som mest effektiv då ventilationen är begränsad.

Nedkylning av gas samt inertering av brandrummet

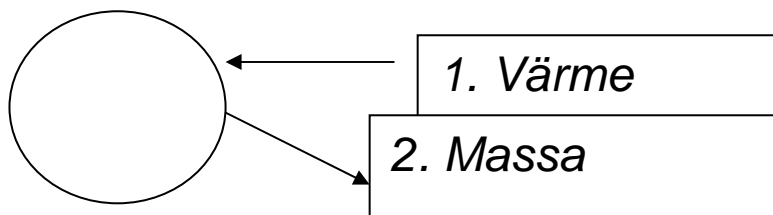
Vattendropparnas förångning beror på temperaturen och fuktigheten i den omgivande gasen. Är temperaturen under 100° C begränsas det maximala ångtrycket av mättningsstrycket vid den omgivande temperaturen, dvs. det

finns en övre gräns för hur mycket som kan förångas. Är temperaturen över 100° C kan den omgivande gasen bestå av enbart vattenånga.

När vattendroppar kommer i kontakt med varma gaser sker nedkylning genom:

1. Direkt värmeöverföring från varm gas till kall gas och vätska
2. Förångning av vätskeformigt vatten

Förångning sker genom en energitransport till vattendroppen samtidigt som massa transporteras i motsatt riktning. Förångning medför därför samtidigt en möjlighet till inerti av brandrummet då det gasformiga vattnet ”späder ut” luften och därmed minskar syrekonzentrationen.



Transporten av massa och energi till/från en vattendroppe beror på tillgänglig kontaktyta gas-vätska och droppens relativa hastighet i förhållande till gasen samt en ”förångningspotential” som beror på hur högt ångtrycket är närmast vattendroppen och hur den relativa fuktigheten ser ut i omgivande gas.

Jämviktstrycket, eller mättnadstrycket, för vattenånga sätter en gräns för hur mycket vattenånga som luften kan innehålla vid temperaturer under 100° C och vid 1 atmosfärs totaltryck, kan detta uttryckas som

$$\log(P^0) = 18.4979 - \frac{2818.6}{T} - 1.6908 \log(T) - 5.7546E - 3T + 4.0073E - 6T^2,$$

$T(K), \quad P^0(Pa)$

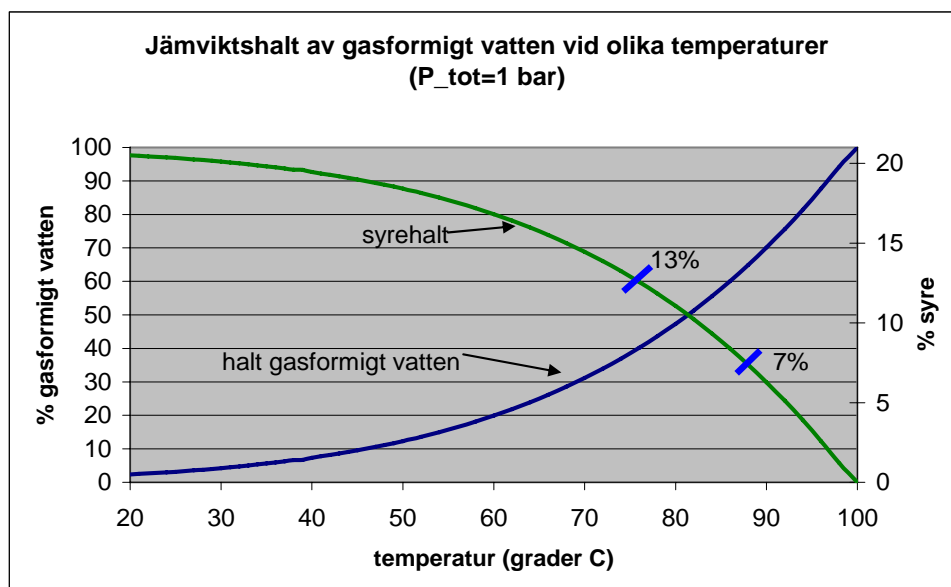
Hur mycket vattenånga som kan finnas i en gasvolym är således beroende på temperaturen. Ekvationen finns grafiskt illustrerad i Fel! Hittar inte referenskälla..

Då vatten tillförs ett brandrum kommer värme att absorberas av vätskan men om stora mängder vatten kyler ner rummet räcker kanske inte energin till för att också förånga vätskan. Sänks gastemperaturen tillräckligt omöjliggörs kanske ytterligare förångningen genom att partialtrycket av ånga inte kan överskrida mättnadstrycket.

Genom att minska mängden vatten vid släckinsatsen ökar således chansen att kunna förånga vätskan genom att en mindre mängd vatten kan ges en högre temperatur med samma energiupptag som en stor mängd vatten och genom att mättnadstrycket inte riskerar bli begränsande om temperaturen i

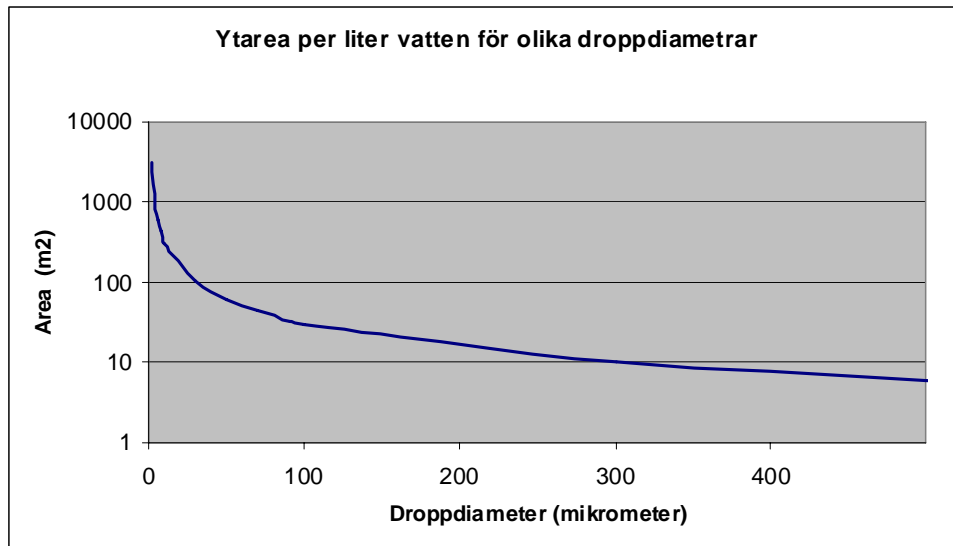
gasen är hög. Detta är också skälet till att det är lättare att släcka en större brand med vattendimma än en liten.

En stor brand ger mycket effekt som kan utnyttjas till att förångas tillräckligt mycket vatten för att släcka branden genom inertering. I **Figur 1** visas tillsammans med ångtryckskurvan även den syreminskning som blir den direkta följden av ett ökat ångtryck. De markeringar som finns på syrekurvan, 13 % och 7 %, är typiska litteraturangivelser för när petroleum- respektive träbränder självslocknar. Observera att ordet "ångtryck" här avser gasformigt vatten och inte den "vattenånga" som består av små vattendroppar och därför är synlig som en vitaktig rök. Om gasen blir övermättad med avseende på vatten, exempelvis genom att en stor mängd vatten förångats vid en temperatur som är högre än vattnets kokpunkt, kan således vatten komma att kondensera ut då gastemperaturen sjunker under 100° C så att vattenhalten i stort sett följer ångtryckskurvan från höger till vänster i **Figur 1**. Vid kondensationsögonblicket har vattendroppen samma temperatur <100° C som gasen.



Figur 1 Andel vatten i gasfas respektive syre i luft vid jämvikt och varierande temperatur

Om man vill minska mängden vatten för att öka inslaget av inertering vid en släckinsats blir den viktiga frågan hur man åstadkommer en effektiv värmeöverföring till vattnet. Ett sätt är att minska droppstorleken eftersom arean av tillgänglig vätskeyta för mass- och värmeöverföring då ökar dramatiskt.



Figur 2 Ytarea för en liter vatten vid varierande droppstorlek

Om strålningens inverkan negligeras är förångningen från en droppe en funktion av tillgänglig vattenyta (A), ångtryck (P_{H_2O}) och flödesbetingelser, dvs:

$$\text{Förångningshastighet} = f(A, P_{H_2O}, Re)$$

där Re är det dimensionslösa Reynolds tal för droppen vilket definierar flödeskaraktistik. Om droppens relativa hastighet till omgivande gas är noll kommer inte flödeskaraktistiken (Re) att spela någon roll utan förångningshastigheten här betecknad med dm/dt (m = massa vatten, t = tid) kan uttryckas med hjälp av den s k Filmteorin^{iv} som varande proportionell mot tillgänglig vattenyta och ångtrycket (jämviktstrycket är indexerat med '0'):

$$\frac{dm}{dt} \propto A \ln \left(\frac{P_{total} - P_{H_2O}}{P_{total} - P_{H_2O}^0} \right) \quad (1)$$

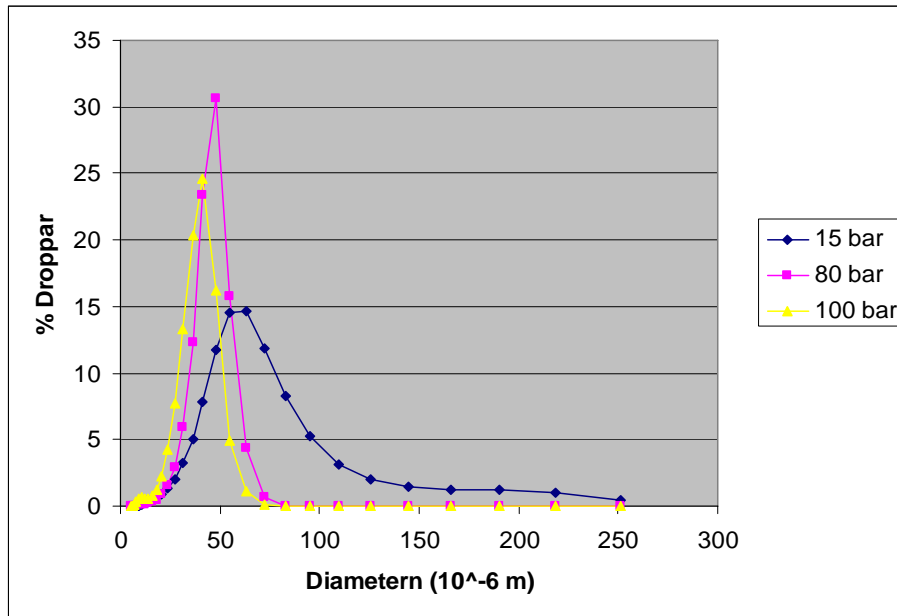
För droppar som befinner sig i en likartad fysikalisk omgivning blir arean 'A' i ekvation (1) summan av dropparnas area och då en minskande droppstorleken medför en ökande area per volym vätska blir förångningshastigheten per liter vätska också starkt beroende av droppstorleken.

En likformig droppstorlek är inte vad som är vanligt utan snarare finns en ganska stor variation i droppdiameter där arean enklast uttrycks med hjälp av en summation och en statistisk droppstorleksfördelningsfunktion:

$$A = \pi \sum_i n_i d_i^2 = \left\langle f_i = \frac{n_i}{N_0} \right\rangle = N_0 \pi \sum_i f_i d_i^2 \approx N_0 \pi \int_0^\infty f(d) d^2 dd \quad (2)$$

där n_i är antalet droppar med diameter d_i , N_0 det totala antalet droppar och f_i fraktionen droppar av en viss storlek d_i .

^{iv} Bygger på antagandet att varje kropp har ett lager, en film, av stillastående molekyler närmast ytan



Figur 3 Exempel på droppstorleksfördelningens tryckberoende för ett munstycke

Ur ekvation (1) framgår det att en drivande förångningspotentialen, ΔP , då relativhastigheten för droppen är lika med noll och gastemperaturen understiger 100 grader C kan uttryckas:

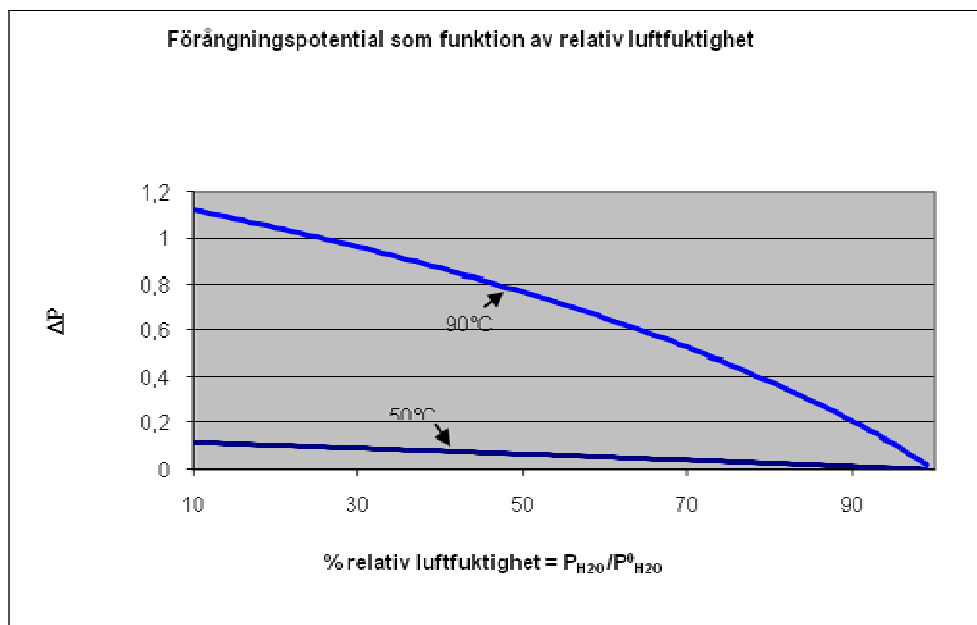
$$\Delta P = \ln \left(\frac{P_{total} - P_{H_2O}}{P_{total} - P_{H_2O}^0} \right)$$

Eftersom mättnadsstrycket $P_{H_2O}^0$ beror av temperaturen (se Fel! Hittar inte referenskälla.) kommer ΔP också att vara temperaturberoende.

Ett sätt att parametrisera ΔP är att utnyttja den relativa luftfuktigheten RH . Denna definieras som kvoten mellan det aktuella ångtrycket och ångtrycket vid jämvikt, dvs.:

$$RH = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^0}$$

En plot av "förångningspotentialen" ΔP som funktion av den relativa luftfuktigheten RH visas i Fel! Hittar inte referenskälla..



Figur 4 Förångningspotential vid två olika temperaturer och varierande relativ luftfuktighet

Enkelt uttryckt visar **Figur 4** att en varmare vätska har en betydligt högre förångningspotential än en kall; ville man vara säker på att uppnå en god inertering vid en släckinsats skulle man således använda uppvärmt vatten.

För det fall att gastemperaturen överstiger 100 grader C kan den teoretiska livslängden för en vattendroppe beräknas och resultat från sådana visas i **Tabell 1**.

Tabell 1 Livslängd för droppar med diametrar från 5 till 100 mikrometer i en varm gas.

Temperature	150	200	300	400	600
D [m]	Livstids [s]				
0.000005	0.003912	0.001789	0.000769	0.000454	0.000222
0.000010	0.015648	0.007158	0.003075	0.001814	0.000889
0.000050	0.391204	0.178944	0.076867	0.045360	0.022220
0.000100	1.564816	0.715776	0.307470	0.181439	0.088878

Om det existerar en skillnad i relativhastighet u mellan droppen och den omgivande gasen kommer den isolerande "filmen" av stillastående molekyler att tunnas ut och därmed mass- och värmeöverföring mellan droppe och gas att öka. Ökningen i massöverföring kan enligt filmteorin beräknas med hjälp av det dimensionslösa Sherwoodstalet (Sh), vilket används till att beräkna en massöverföringskoefficient, k_c , mellan de två faserna. Koefficienten uttrycker massöverföring genom uttrycket:

$$N_A = k_c (C_{As} - C_A)$$

Massflödet N_A mellan droppen och gasen beskrivs således i filmteorin såsom varande proportionellt mot koncentrationsdifferensen av ämnet över filmen (C_{As} = koncentration vid

droppytan, C_A = koncentration i gasfas) med proportionalitetskonstanten = massöverföringskoefficienten k_c . Koefficienten kan beräknas ur Sherwoods tal enligt:

$$\frac{k_c d}{D} = Sh$$

där D = gasens diffusionskoefficient och d är en karakteristisk längd för systemet (droppdiametern).

Sherwoodtalet kan i sin tur beräknas ur:

$$Sh = 2 + \alpha Re^{1/2} Sc^{1/3}, \quad \alpha \in (0.4, 0.8) \quad (2)$$

där Reynolds (Re) och Schmidts (Sc) tal uttrycker flödeskaraktistik:

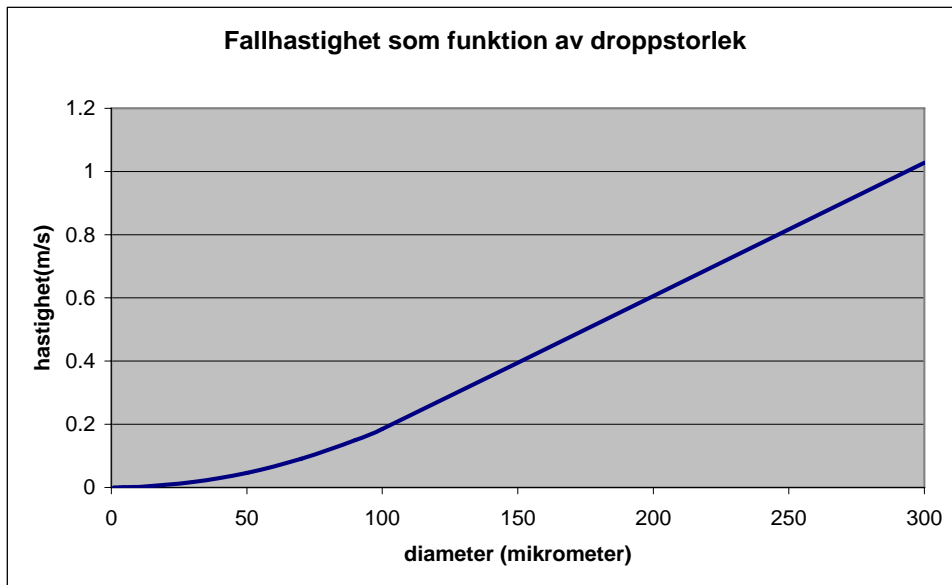
$$Re = \frac{ud}{\nu}, \quad Sc = \frac{\nu}{D}$$

$u = |u_{gas} - u_{drop}|$ = relativ dropphastighet, d = droppdiameter, ν = kinematisk gasviskositet, D = gasens diffusionskoefficient.

Då droppen har samma hastighet som gasen blir $u = Re = 0$ och därmed blir $Sh = 2$ för det fall att molekylär diffusion genom filmen kring droppen är den enda mekanism som bidrar till massöverföringen.

När vatten tillförs genom ett sprinkler- eller vattendimmunstycke kommer relativhastigheten u , skillnaden i hastighet mellan droppen och den omgivande gasen, initialt att vara av stor betydelse då u påverkar förångningshastigheten. Senare kan tröghetskrafter ge upphov till ett värde på u i turbulenta områden medan gravitationen kommer att ge en hastighet som funktion av droppstorleken.

En beräknad fallhastighet som funktion av droppstorlek (sfäriska droppar) visas i **Figur 5**. Ekvationerna för beräkningen är hämtad från Fan et al.



Figur 5 Beräknad fallhastighet för droppar

Då massöverföringen mellan en droppe och en gas påverkas av relativhastigheten u blir frågan hur mycket droppens initiala hastighet kan bidra till förångning och nedkylning. Detta beror delvis av hur lång tid det tar innan droppen bromsas in av luftmotståndet, dvs. det beror av sprayens kastlängd.

Kastlängd

Kastlängden har betydelse för hur stort område som påverkas av sprayen. En empiriskt baserad kastlängd, definierad som hur långt, h_0 (m), en spray når i stillastående luft som funktion av tryckfallet över sprinklermunstycket δP (Pa), massflödet G (kg/min) genom detta samt sprayvinkel Θ (grader), har uttryckts som

$$h_0 = 0.1626 \frac{G^{0.36} \delta P^{0.28}}{\Theta^{0.58}} \quad (1)$$

Några beräknade resultat visas i Fel! Hittar inte referenskälla.. Figuren visar att kastlängden blir relativt kort också vid höga tryckfall. Ekvationen baseras på data för sprinkler/vattendimma munstycken och är inte direkt applicerbart för en Skärsläckare. En Skärsläckare har en kastlängd kring 10 - 15 meter varav 5 - 7 meter i form av en obruten stråle innan denna bryts upp och finfördelas till små droppar. Den ”kastlängd” för Skärsläckaren som skall jämföras med Fel! Hittar inte referenskälla. är således sträckan efter det att strålen bryts upp, vilket rör sig om kanske halva den totala kastlängden för Skärsläckaren. Kastlängden för Skärsläckare är generellt längre än för ett vattendimsystem.

Tabell 2 Skärsläckare och sprinkler/vattendimma; system-skillnader

Skärsläckare

En munstycksöppning (single orifice)

Tryck = ~300 bar

Flöde = ~50 l/min

Sluten stråle ($\Theta = 0$)

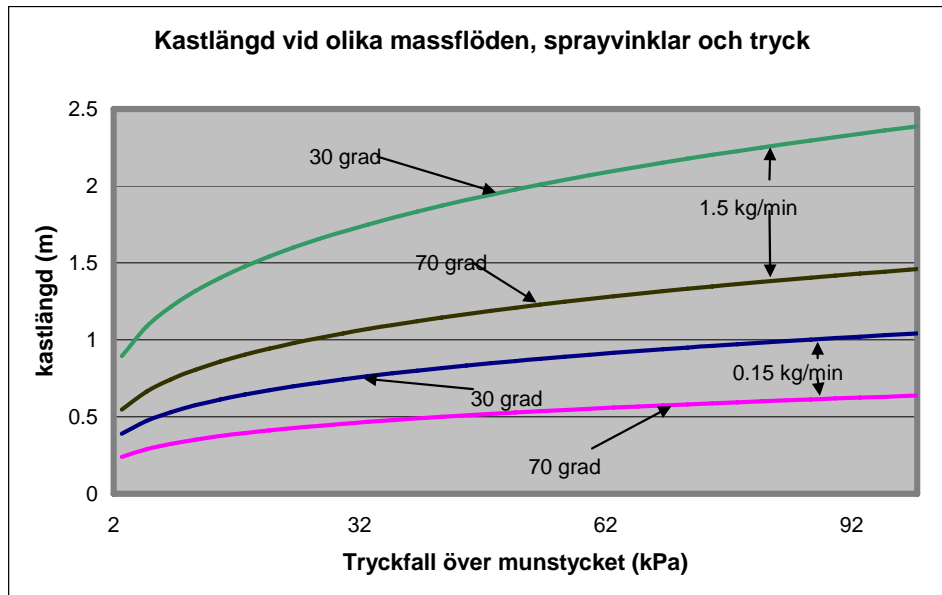
Sprinkler/vattendimma

Flera munstycksöppningar

Tryck 60-100 bar

Flöde = ~10-20 l/min

Konformad spridning ($\Theta > 0$)



Figur 6 Beräknad kastlängd för en vattenspray

Kastlängden åstadkommer en omrörning av gasen men har också betydelse för att det ger vattendropparna en möjlighet till en relativhastighet i förhållande till gasen vilket potentiellt skulle kunna påskynda förångningen (se tidigare avsnitt). Att så inte blir fallet, åtminstone för mindre droppar, framgår av **Tabell 3**. Orsaken är helt enkelt att inbromsningen av små droppar sker mycket snabbt.

Tabell 3 Jämförelse av livslängd för droppar som faller fritt i förhållande till de som har en initialhastighet av 100 m/s vid 150°C gastemperatur

Droppens diameter	Livslängd, fritt fall	Livslängd, 100 m/s
5 μm	0.003912 s	0.0039 s
10 μm	0.015648 s	0.0155 s
50 μm	0.391204 s	0.3720 s
100 μm	1.564816 s	1.400 s

Om överföringen av rörelsemoment under den initiala fragmenteringen av vätskan till droppar försummas kan kraftöverföringen till gasen, F_d , beskrivas av uttrycket:

$$|F_d| = \frac{1}{2} \rho_{H_2O} u^2 \pi C_D \frac{d^2}{4}, \quad C_D = \frac{12.6}{\sqrt{\text{Re}}} \quad (4)$$

där u är dropphastighet, d droppdiameter och C_D beskriver luftmotståndet. Ekvation (4) indikerar vad som förefaller intuitivt rimligt, att det är en fördel om dropparna har ett högt rörelsemoment, dvs. har hög hastighet och stor diameter, för att erhålla ett högt värde på överföringen av rörelsemängd/moment från sprayen till gasen och därmed åstadkomma en god omblandning av gaserna.

Sammanfattning: gasnedkylning och inertering

Nedkylning av brandgaser med hjälp av vatten sker genom direktkontakt mellan fluiderna samt genom förångning av vatten, vilket också ger upphov till en inertering. Styrande för nedkylningen är hur mycket vätskeyta som står i kontakt med gasen vilket betyder att ju mindre dropparna är desto effektivare blir nedkylningen per liter tillfört vatten. Vill man således minska mängden tillfört vatten samtidigt som man kyler effektivt kan släcksystem av typ vattendimma och skärsläckare vara intressant att använda. En mindre vattenmängd ökar också chansen för att ett energiutbyte mellan de varma gaserna och vätskan faktiskt medför en förångning. Detta ger i sin tur en släckeffekt genom inertering, då gasformigt vatten blir en del av rummets atmosfär och därigenom minskar partialtrycket av syre.

Förutom tillgänglig yta för värmeöverföring och energiinnehåll i brandgaserna påverkas förångning av en droppe av dess hastighet relativt den omgivande gasen. Små droppar har emellertid såpass liten rörelsemängd även vid höga hastigheter att dess fart snabbt klingar av varför droppens förmåga att kyla brandgaser påverkas relativt lite av dess hastighet. Detta medför också en begränsad omblandningseffekt av dropparna. Emellertid ger skärsläckaren initialt en koncentrerad vattenstråle med hög hastighet och det är inte utrett hur detta påverkar omblandningen eller hur uppbrottet från stråle till små vattendroppar påverkar omrörningen. Det förefaller dock som att det höga flödet (typiskt ~50 l/min) och droppbildningen sammantaget torde ge ett stort momentbidrag till brandgaserna lokalt. Detta behöver dock utredas vidare.

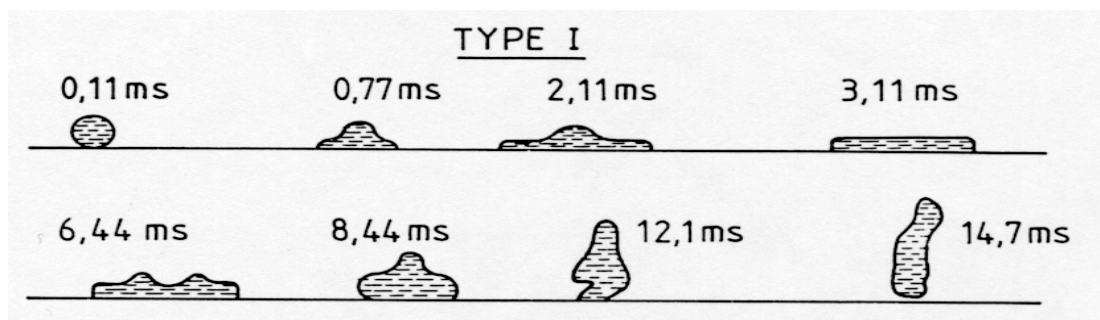
Ytkylning

Vatten som träffar brinnande ytor värms upp och förångas och kyler ytan. Pyrolyshastigheten från ytan avtar och när den blir tillräckligt liten, motsvarande en effektutveckling på 50 - 75 kW per kvadratmeter kan flammorna inte längre existera över ytan. Teori och experiment visar att den mängd vatten som krävs för att släcka en brand i träbaserade material är (pyrolyshastighet < c:a 5 g/(s*m²)) är ≈ 2 g/(s* m²) vatten. Utsätts ytan för strålning ökar behovet av vatten för att släcka. Vid en infallande strålning mot ytan på 25 kW/ m² t.ex. ökar vattenbehovet till 10 g/(s* m²).

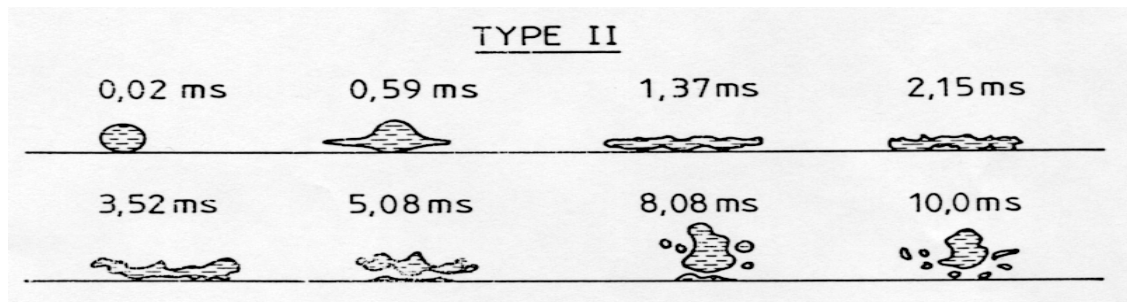
När vattnets sprayas mot den heta väggytan absorberar vattnet värme, dels genom att vattnet värms upp och dels genom att det förångas. Värmeöverföringen från en väggyta till vattendroppar är emellertid en mycket komplex process som beror av dropparnas kollisionshastighet, dropparnas diametrar och väggens temperatur. Man använder sig av en dimensionslös parameter, Weber-talet (We), för att beskriva förhållandet vid kollisionen.

$$We = \rho_w * v^2 * D / \delta_s$$

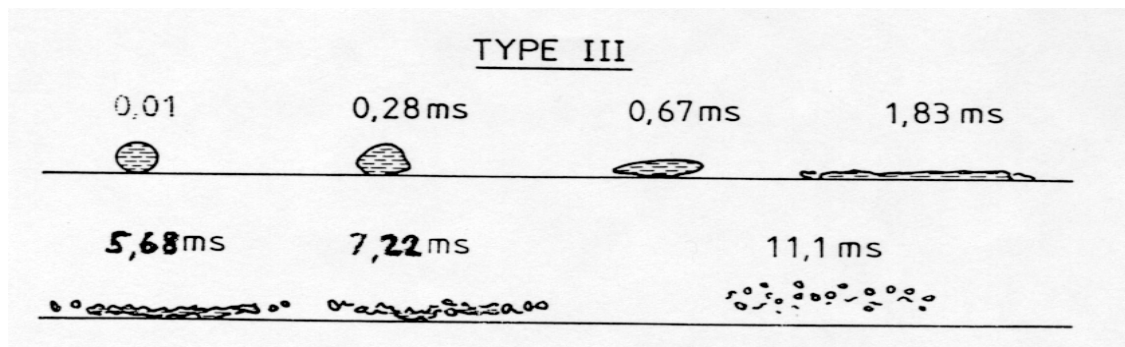
Där v = vattendroppens kollisionshastighet, D = droppens diameter och δ_s = vattnets ytspänning vid mätnadstemperaturen. Vid försök har det visat sig att droppen bryts sönder mot polerade ytor vid Weber-tal $\sim > 80$. I **Figur 7 - Figur 9** visas droppens beteende för några olika typfall.



Figur 7 $We = 30$ Droppen bildar en jämntjock film på metallytan. Kontraheras åter på grund av ytspänningen. Lämnar sedan ytan utan att dela sig.



Figur 8 $We = 99$. Likartat som i fall 1 men droppen delar sig i två eller flera smådroppar som sedan lämnar ytan.



Figur 9 We = 407. Filmbildning med samtidig finfördelning till små droppar längs kanterna.

Den praktiska konsekvensen av figurerna ovan är att det inte är hög förångningsgrad, vid vattenbegjutning av ytor med mindre dropparna är ju snabbare bromsas de upp varvid Weber-talet minskas kraftigt.

I **Tabell 4** visas Weber-talet för fritt fallande droppar av olika diametrar.

Tabell 3 Weber-talet för fritt fallande vattendroppar vid T=298 K

Diameter mm	0.01	0.1	0.5	1
Weber talet	4.5 E-7	4.5 E-2	18	180

Av tabellen framgår att de enskilda droppstorlekar som ett vattendimsystem genererar i huvudsak inte splittras vid en kollision med en fast kropp utan "studsar" tillbaka från den varma ytan (**jfr figurerna ovan**). Även om skärsläckaren skiljer sig från ett vattendimsystem kan man förmoda att när väl vattenstrålen bryts upp till små droppar, uppför sig dessa på liknande sätt.

Sammanfattning: ytkylning

En yta kyls mest effektivt av stora droppar då det behövs ett visst moment för att "nä fram". Experiment har också visat att små droppar har svårare att väta ytor varför ett vattendimbaserat system torde vara mindre effektivt vad gäller ytkylning än ett system med större vattendroppar.

Strålningsdämpning och absorption

Strålningsintensiteten i för en viss våglängd λ och en viss riktning utanför en 'absolut svart' kropp, vid temperaturen T kan uttryckas

$$i(\lambda, T) = \frac{m_e(\lambda, T)}{\pi} \quad (\text{W/m}^3)$$

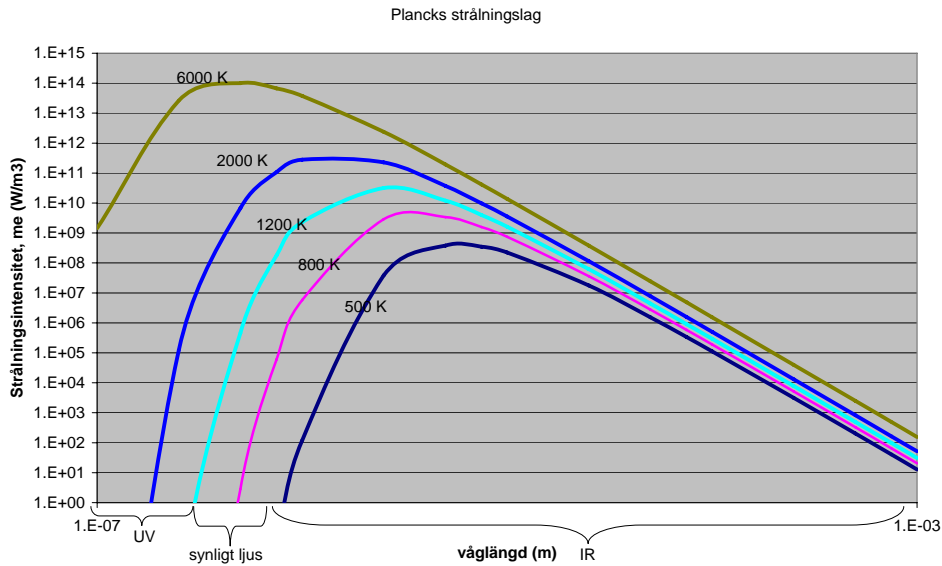
(2)

där m_e är totalt emitterad strålning med våglängd λ från kroppen. Den totala emission kan härledas ur kvantmekaniska samband varvid erhålls *Plancks strålnings-lag*:

$$m_e(\lambda, T) = \pi i(\lambda, T) = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (\text{W/m}^3)$$

där c_1 och c_2 är konstanter.

Grafisk kan ekvationen gestaltas som i figuren nedan.



Figur 10 Strålningsintensitet som funktion av våglängd och temperatur

Som framgår av bilden gäller för varje våglängd att strålningsintensiteten ökar med temperaturen men också att intensitetsmaximum förskjuts mot kortare våglängder vid ökande temperatur.

Ekvation (5) kan för en given temperatur T integreras över alla våglängder λ för att erhålla total strålningsemissivitet M_e , som funktion av T . Efter en del algebraiskt 'trixande' erhålls

$$M_e = \int_0^{\infty} m_e(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (3)$$

vilket är *Stefan-Bolzmanns lag*. σ är en konstant (Stefan-Bolzmanns konstant) med enheten $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Uttrycket gäller för 'svartkroppsstrålning', exempelvis en strålning från en 'absolut svart' yta till halvrymden ovanför ytan. Verkliga material har som regel en något lägre emissivitet, vilket uttrycks med en emissivitetsfaktor ε . Ekvation (7) skrivs då istället

$$M_e = \varepsilon \sigma T^4 \quad (7)$$

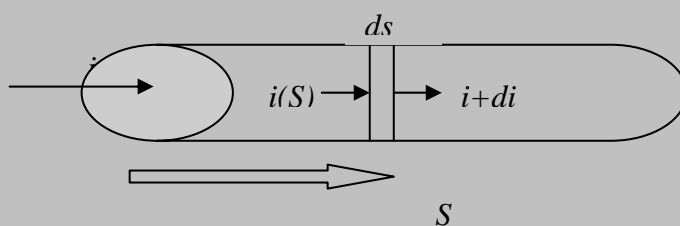
där ε ligger inom intervallet $[0,1]$. Totala strålningsintensiteten I för en viss vinkel utanför en strålningskälla ges av ekvation (5) och (7) som

$$I = \frac{\varepsilon \sigma T^4}{\pi} \quad (8)$$

Som nämndes inledningsvis härleds uttryck för strålningsintensitet ur kvantmekanik. Spridning och utbredning av emitterade strålning beskrivs däremot av klassisk elektromagnetisk teori, dvs. av Maxwells ekvationer. Med hjälp av denna teori kan bl. a emissivitetsfaktorn ε beräknas utifrån materials elektromagnetiska egenskaper. Ett materials emissionsegenskaper kan sedan kopplas till dess förmåga att absorbera strålning genom *Kirchhoff's lag*, vilken säger att vid termodynamisk jämvikt gäller

$$\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda) \quad (9)$$

dvs. emissivitet för ett material är lika med dess absorptivitet. Intensiteten i hos en elektromagnetisk våg som passerar ett volymselement S minskar genom absorption av strålningen.



Det har visats experimentellt (och även teoretiskt) att förändringen över ett volymselement kan uttryckas

$$di(\lambda, S) = -K_a(\lambda, S)i(\lambda)dS \quad (10)$$

där dS utgör ett längdmått för S och K_a är en koefficient ('extinction coefficient') som beror av våglängd λ och av egenskaper i volymselementet S (tryck, temperatur, absorberande ämnen). Ekvation (10) är den omtalade "Radiative Transfer Equation" (RTE) vilken beskriver strålningsutbredning genom ett rent absorberande medium. Ekvationen utgör en ordinär differentialekvation med lösning

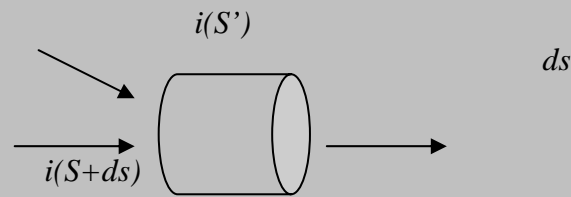
$$i(\lambda, S) = i(\lambda, 0)e^{\left[-\int_0^S K_a(\lambda, S)dS \right]} \quad (11)$$

vilket är *Bouguers lag* (eller Lamberts lag). Om K_a antas vara en konstant som innefattar såväl absorptions- som spridningsegenskaper hos S , kallas (11) *Lambert-Beers lag* och skrivs

$$i(\lambda, S) = i(\lambda, 0)e^{[-K(\lambda)S]} \quad (12)$$

Lambert-Beers lag är mycket vanlig vid ingenjörsmässiga beräkningar av strålningsdämpning. I ekvationen försummas emission från volymen S orsakad av att volymen värmts upp. Generellt erhålls relativt enkla uttryck av samma slag som i ekvationerna (11) och (12) för strålningsdämpning som följd av absorption, emission och

spridning så länge som in-spridning av strålning inte beaktas, dvs. så länge som den strålning som sprids från partiklar/volymselement inte anses kunna reflekteras och bidra till den inkommande strålningen på andra partiklar eller volymer.



Figur 11 Schematisk bild av In-spridning

Vid in-spridning måste bidraget summeras över alla rymdvinklar ω' , vilket leder till att ekvation (10) övergår i en mer komplicerad generella RTE-ekvationen:

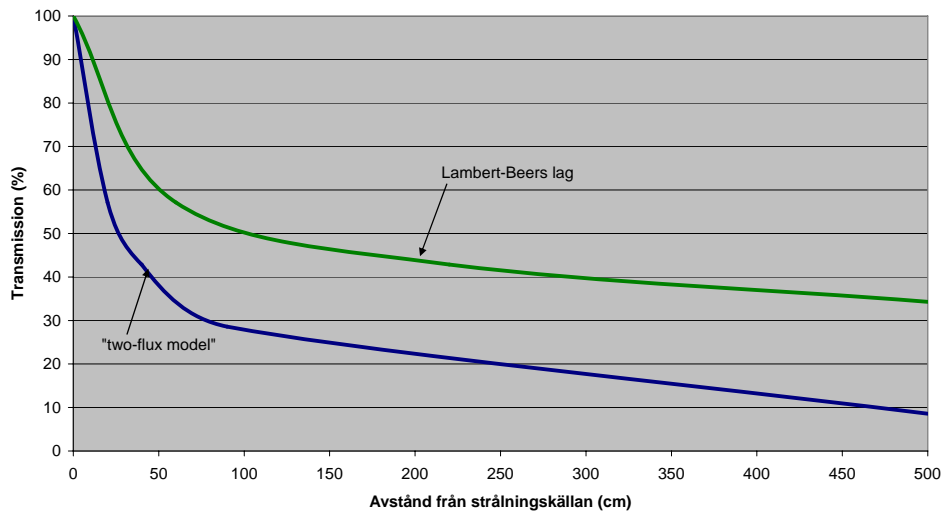
$$\frac{di_{\lambda}(S, \omega)}{dS} = -(K_a + K_s)i_{\lambda}(S, \omega) + K_a i_{b\lambda}(S) + \frac{K_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} i_{\lambda}(S, \omega') P(\omega' \rightarrow \omega) d\omega' \quad (13)$$

där index ' λ ' indikerar vinkelberoendet, K_a och K_s betecknar absorptions- respektive spridningskoefficient för volymselementet ds och P är en fasfunktion som kan beräknas med hjälp av Maxwells ekvationer. Fasfunktionen blir, utom för några enklare fall, såpass komplicerad att numeriska metoder krävs för att beräkna ekvation (13).

Yang *et. al* har publicerat jämförelser mellan resultat från en numerisk modell ("two flux model"), som inkluderar spridning vid beräkningen med beräkningar som endast räknat enligt mer traditionell, "ingenjörsmässig" beräkning av strålningsdämpning med hjälp av Lambert-Beers lag, som inte inkluderar spridningsbidraget till dämpningen. En graf med data hämtade från Yang visas i **Figur 12**.

Simulering visar att spridningen som orsakas av vattendroppar har stort inflytande och att effekten ökar med minskande droppdiameter. Effekten blir större med minskad droppdiameter, då mängden droppar per volymselement gas ökar för samma vattenmängd men också då det visat sig att en mindre droppe mer effektivt absorberar strålning.

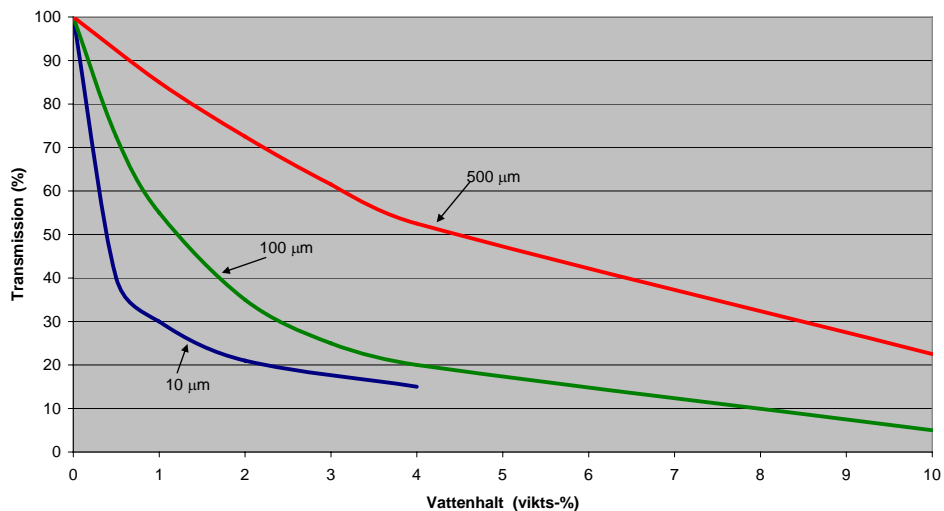
Jämförande dämpningsberäkning



Figur 12 Simulering av strålningsdämpning i vattendimma från en svartkropps-strålare (1923°C). Vattenhalt 5% (viktsbaserad) och droppstorlek 15 μm .

I **Figur 13** visas strålningsdämpning för olika droppstorlekar baserad på simulering med spridningsmodell. Värdena är hämtade från Yang *et. al.* Slutsatserna från beräkningarna är att dropparna har stor betydelse för strålningsdämpningen och att mindre droppar är mer effektiva än stora för att dämpa strålningen (**Figur 13**).

Simulerad dämpning som funktion av droppstorlek och vattenhalt i gasen



Figur 13 Beräknad strålningsdämpning från en 1000°C strålningskälla ("Black body") 3 meter från strålningskällan

Slutsatser: strålningsdämpning

Dämpning av elektromagnetiska vågor orsakade av vattendroppar är substantiell och ökar i betydelse då droppstorleken minskar.

Sammanfattning

Syftet med avsnittet var att belysa hur droppstorleken inverkar vid brandsläckning. Grunden för analysen är bedömningen att en skärsläckare producerar vattendroppar i samma storleksområde som den typ av fasta släcksystem som kallas vattendimma, dvs. droppstorleksfördelningar med typiska medelvärden under 250 mikrometer. Emellertid saknas detaljerade studier och mätdata för skärsläckarsprayen både vad avser droppstorlek och exempelvis över hur kastlängd och droppar påverkas av eventuella variationer i vattentryck, flöde och vattenmunstycke.

Generellt kan man säga att små droppar som genereras i en vattendimma ger en kraftigt förhöjd kontaktyta mot de varma brandgaserna per liter vätska jämfört med traditionella sprinklersystem. Detta leder till att vattnet mer effektivt kan utnyttjas för att kyla brandgaser genom direktkontakt och förångning men också genom en ökad absorption då mindre vattendroppar mer effektivt absorberar strålningsvärme vid samma andel väsketillförsel som ett traditionellt vattenbegjutningssystem. Det finns också studier som visar att mindre droppar i sig har en bättre absorptionsförmåga än stora. De mindre dropparna kommer också att påverkas mindre av gravitation och därmed ges möjlighet till en längre uppehållstid och chans till förångning i gasfasen. En minskad vattenmängd medför en större chans till förångning då mer värme används till detta istället för att enbart värma upp en större vattenkvantitet.

Nackdel med de mindre dropparna är att det är svårare att väta ytor då droppen saknar rörelsemoment för att exempelvis kunna penetrera en flamma och nå den brinnande ytan under men också för att mindre droppar har svårare att väta en yta utan istället tenderar att "studsas" av en varm yta. Den måttliga rörelseenergin för små droppar medför också att kastlängden för ett vattendimmsystem blir relativt kort eftersom droppens hastighet snabbt bromsas upp. Emellertid skiljer sig ett skärsläckarmunstycke från ett vattendimmsystem i det att en koncentrerad vattenstråle med hög hastighet och högre tryck lämnar ett munstycke med en enda öppning och att strålen först efter ca 5 - 7 meter bryts upp och fördelas i små droppar, vilka ger ytterligare 5 - 7 meters kastlängd. Hur detta scenario med fokuserad vattenstråle och hög flödes hastighet, där strålen bryts upp till små droppar, påverkar omblandningen av brandgaserna är såvitt känt inte utrett.



6. Experiment med skärsläckaren

I följande kapitel sammanställs de rapporter som beskriver försök som har genomförts med skärsläckaren. Det finns ytterligare dokumentation som beskriver skärsläckarens funktion och användningsområde.

Strålens utformning och spridning

Fri stråle

I rapporterna beskrivs hur en fri stråle från skärsläckaren bryter upp på olika avstånd. Alla rapporterna beskriver vattenstrålen som relativt väl sammanhållen upp till ca. 5 meter från munstycket där ett första uppbrott av strålen sker. Innan uppbrottet har strålen en inre kärna som innehåller det mesta vattnet samt ett litet yttre område med lite mindre sammanhållen stråle. Vid 7 meter från munstycket har strålen brutit upp helt och suger in luft som antas röra sig med samma hastighet som vattendropparna. Att strålen bryts upp förklaras med olika instabiliteter i flödet. Avståndet till uppbrottet bestäms av bland annat Reynolds tal samt utformningen och diametern på munstycket. När det gäller den totala kastlängden har den blivit bestämd visuellt till omkring 15 meter, vilket överensstämmer med SRV rapporten där man säger att den totala kastlängden var ca. 14 - 16 meter.



Bild 15 *Försök med skärsläckarlansen för att utröna inverkan av tillsatsmedel på strålens uppbrott och kastlängd.*

I Ronny Fallberg et al beskrivs försök med fri stråle, både med och utan tillsatsmedel. Försöken gjordes med en 60 m. slang och 300 bar vattentryck vid pumpen, vilket gav ett vattenflöde på 50 l/min. **Bild 15** visar försöken som genomfördes i SP:s brandhall i Borås. I alla försöken, uppmättes avståndet fram till det totala uppbrottet och i samtliga fall var det ungefär 7 meter, vilket överensstämmer bra med Holmstedts beskrivning. Ingen märkbar skillnad observerades på strålens utformning och uppbrott med eller utan tillsatsmedel.

Bild 16 visar tydligt hur den karakteristiska formen på strålen och de två olika uppbrott som sker. Fram till ungefär 5 meter finns en väl sammanhållen stråle för att sedan övergå till en helt utspridd stråle efter ungefär 7 meter.



Bild 16 Demonstrationsförsök på övningsfältet vid Guttasjön i Borås visar hur strålen först bryts upp efter ca. 5 m. för att vara helt uppbruten vid ca. 7 m.

Vattenstrålens uppbrrott efter penetration genom konstruktionsmaterial

Bjerregaard och Olsson presenterade en intressant försöksserie där man undersökte strålens struktur och egenskaper efter penetrering genom olika konstruktionsmaterial. Man konstaterade att de flesta tidigare studier utgick ifrån fri stråle utan påverkan av konstruktionen. Totalt utfördes 21 försök i studien. Samtliga försök visade att vattenstrålen först var väl sammanhållen, för att sedan ca. 5 m från munstycket bryta upp till en vattenspray.

Det fanns då inte längre någon kärna av vatten i strålens centrum utan vattendropparna var relativt jämnt fördelade över strålens tvärsnitt. Hastigheten i vattensprayen beräknades vara i storleksordningen 5 - 10 m/s efter strålens uppbrrott. Deras beskrivning är snarlik den som andra observatörer har gjort för fri stråle.

Enligt Bjerregaard och Olsson visade vattenstrålen sig relativt snabbt få samlad strålbild, utan någon nämnvärd uppbrottsvinkel, direkt efter genomslaget av provkroppen, vilket syns tydligt i **Bild 17**. I **Bild 18** åskådliggörs hur vattenstrålen bryts upp på långt avstånd efter att ha penetrerat provkroppen. Strålen har två olika karakteristiska vinklar, som Bjerregaard och Olsson har uppskattat. Första delen är upp till 5 m, där har strålen en utbredningsvinkel på 5 grader och sedan en vinkel på 10 grader från 5 m, vilket syns i **Figur 14**.

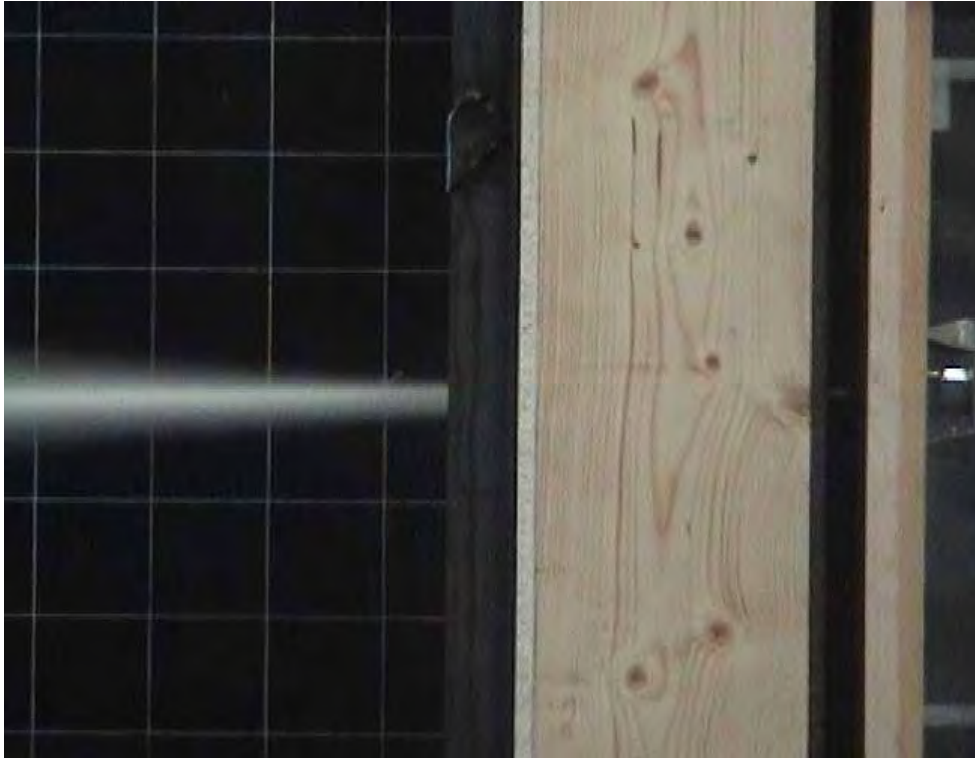
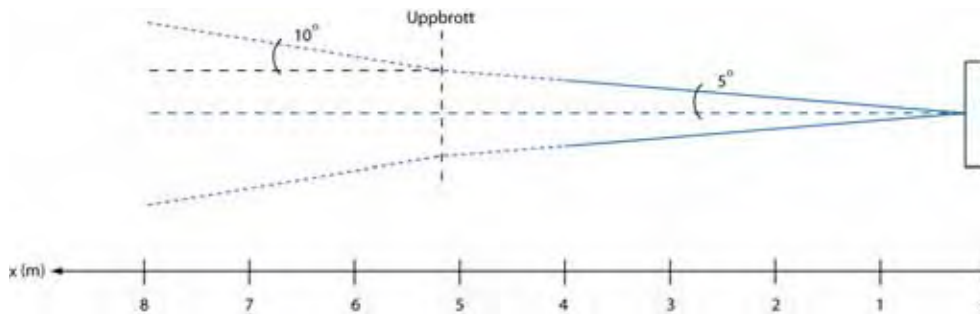


Bild 17 Genomslag av vattenstrålen genom en provkropp.



Bild 18 Vattenstråle som bryter igenom en provkropp.



Figur 14 Vattenstrålens uppbrott vid genombrott av en konstruktionsdel enligt en skiss som Bjerregaard och Olsson presenterade.

I **Tabell 5** ges ett grovt mått på de ingående diametrarna på olika avstånd från munstycket.

Tabell 5 Skärsläckarsprayens geometriska form

Avstånd från munstycke m	0	1	4	7
Inre diameter mm	21	15	60	-
Yttre diameter mm	2	100	400	1100

1. Utgångsdiametern beräknad med en munstycksdiameter 2.2 mm och en flödeskoefficient på 0.83.

Bjerregaard och Olsson presenterade en omfattande undersökning på strålens karakteristiska egenskaper, såsom hastigheten u i strålen och diametern på strålen. Vattenhastigheten i horisontelled (x -led), $u(x)$ (m/s), uppskattas som en funktion av avståndet till munstycket, x (m), som:

$$u(x) = -1.6x + 19.4 \quad 4 \leq x \leq 8 \quad (14)$$

Det innebär att hastigheten 7 m ifrån munstycket är 8.2 m/s. Genom att analysera videoupptagningarna från försöken kunde Bjerregaard och Olsson uppskatta vattensprayens diameter, $D(x)$. Ekvationen för strålens utbredning inom området mellan 5 m till 8 m blir:

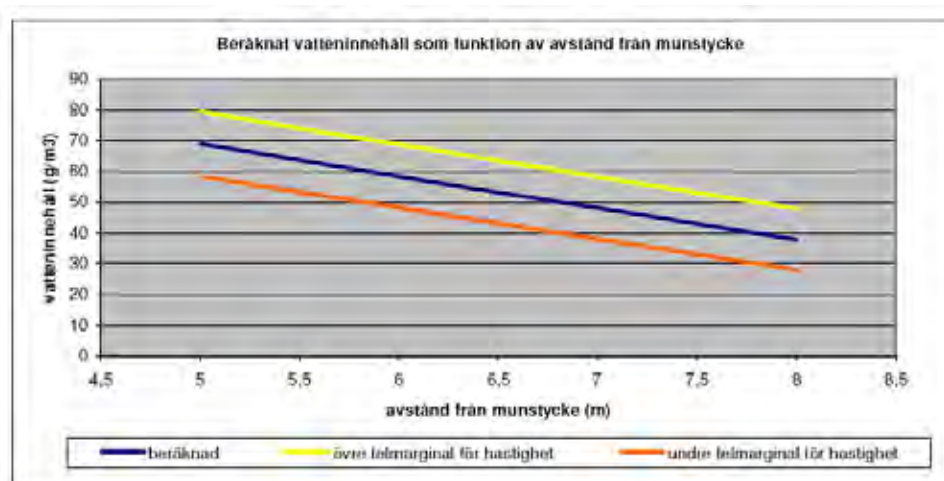
$$D(x) = 0.3058x - 0.623 \quad 5 \leq x \leq 8 \quad (15)$$

Det innebär att 7 m från munstycket blir yttre diametern 1.518 m.m., vilket är lite högre än de 1.100 m.m. som är angivna i Fel! Hittar inte referensskälla.. Motsvarande area blir 1.8 m². Om man utnyttjar sambandet mellan hastighet och area kan volymflödet som funktion av x , $V(x)$, beräknas.

$$V(x) = 0.7854 \cdot (19.4 - 1.6 \cdot x) \cdot D^2 \quad 5 \leq x \leq 8 \quad (16)$$

Det innebär att volymflödet i sprayen blir $14.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 7 meter från munstycket.

Baserat på volymflödet kan även mängden vatten som finns i strålen per kubikmeter luft beräknas. Bjerregaard och Olsson har beräknat hur vatteninnehållet i strålen varierar med avståndet x . Resultatet av beräkningarna visas i Fel! Hittar inte referensälla.. Den visar att vatteninnehållet i strålen minskar linjärt med avståndet. Efter sju meter är vatteninnehållet ungefär $48 \text{ m}^3/\text{g}$.



Figur 15 Beräknat vatteninnehåll i sprayen som funktion av avstånd från munstycket.

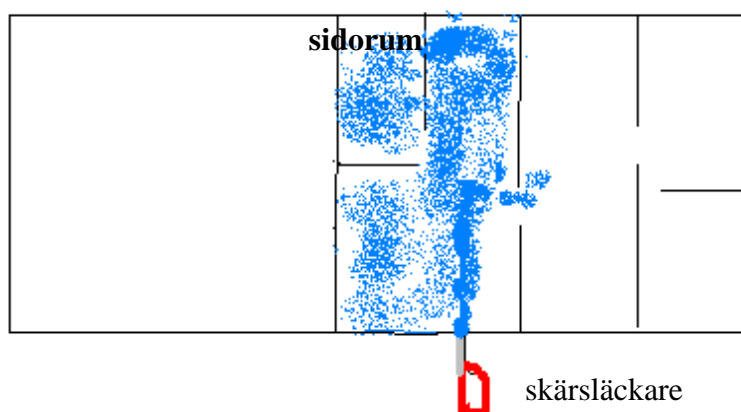
Sammanfattningsvis kan man säga att strålen har samma karakteristiska uppbyggnad, oavsett om det är en fri stråle med eller utan tillsatsmedel eller abrasiv eller om den skär igenom ett konstruktionsmaterial. De undersökningar som har gjorts beskriver bra formen på strålen och genom det arbete som Bjerregaard och Olsson utfört, har kunskapsnivån om strålens karakteristiska egenskaper lyfts avsevärt. Det som saknas idag är kunskap om droppstorleksfördelningen i strålen bortom 5 meters uppbröttet.

Spridning i rum utan brand

En annan intressant sak som är relaterad till strålens utformning och spridning, är hur vattnet distribueras i ett rum. Ronny Fallberg et al gjorde försök med skärsläckarlansen för att undersöka spridning av vattendroppar i olika rumsgeometrier. För att möjliggöra visuella observationer användes ingen brand i försöken. Syftet var endast att undersöka om vattendroppar kunde transporteras in i sidoutrymmen där det fanns öppna dörrar. Försök gjordes både i ett tvåvånings betonghus som var 26 m långt och 10 m brett och i ett trähus som var 25 m långt och 4,6 m brett.

I betonghus placerades skärsläckarlansen 1,4 m över golvnivå. Strålen riktades tvärs över huset som är 10 m brett. Strålen bröts upp ungefär 6 m från inloppet. Det fanns två rum anslutna till lokalen där skärsläckaren

anslöts. Det rum som strålen passerade igenom blev väldigt blött medan angränsande rum blev relativt torra. En observatör stod i sidorummet (vänster) under försöket för att observera om det kom in några vattendroppar i rummet. Observatören kunde observera och känna lite fukt i luften men väggar och tak såg torra ut. Tröjan som personen hade på sig blev dock blöt. Andra försöket var identiskt med första försöket, förutom att ett undertryck skapades inne i byggnaden genom att öppna två luckor på bägge sidor av skärsläckaren och att fläkten placerades strax innanför dörröppningen. Det blev lite mer vattendroppar som transporterades till det högra rummet. Den person som stod i sidorummet (vänster) blev blöt också i detta försök. En skiss över försöket visas i **Figur 16**.



Figur 16 Skärsläckarlansen placerades 1,4 m över golvnivå och riktades tvärs över huset som är 10 m brett. Strålen bröts upp ungefär 6 m från inloppet, precis bredvid sidorummet där en observatör fanns.

Försök gjordes även i ett trähus där det fanns en mellanvägg med en dörr som var 0,9 m bred och 2 m hög. Skärsläckarlansen placerades på ett stativ sidorum (1,4 m över golv) vid ena kortväggen på huset, mitt emot dörren i mellanväggen. I de två första försöken riktades skärsläckarlansen lite uppåt vilket gjorde att strålen träffade mellanväggen strax ovanför dörren. Endast på de första 4 – 6 m observerades vatten på golvet. Stora delar av rummet, där skärsläckarstrålen passerade, blev blött. När riktningen på strålen ändrades så att den gick rakt igenom dörren blev golvet blött på ett betydligt större område.

Ronny Fallberg et al gjorde även försök i en 500 m³ stålbyggnad på SP som hade måtten 12,5 m lång, 8 m bred och 5 m. hög. Skärsläckarlansen placerades nära ena väggen, där man sköt igenom den. Hela lokalen blev fylld med små svävande vattendroppar inom 1- 2 min. Man kunde se att det fanns en tendens att dropparna följde luftflöden som skärsläckaren genererade. Det var lite som en virvel som transporterades runt hela lokalen. Det verkade som om dropparna följde detta flöde.

Bobert och Arvidson gjorde också brandförsök i samma rum, där strålen sköt mot en plåtvägg. Plåten, som hade måtten HxB = 233x125 cm och, lutande 20 grader, in i rummet, placerades 2 m från skärsläckaren. Ingen

beskrivning ges av hur strålen såg ut efter att den träffade plåten, men det påverkade tydligen släckegenskaperna. Bobert och Arvidson drar nämligen slutsatsen att en avskärmande plåt tyder på att det är av stor vikt att vattenstrålen tillåts brytas upp utan hinder så att vattnet fördelas i rummet.

Försöken i utrymme utan brand visar att det inte sker någon nämnvärd spridning av vattendroppar till angränsande rum. Slutsatsen som Ronny Fallberg et al drar är att vattenstrålen bör riktas mot det rum där vattnet skall verka. De anser också att det är viktigt att vara rörlig och rikta handlansen rätt för att kunna kyla brandgaserna eller släcka branden. För att få största effekt bör man samtidigt flytta angreppspositioner till olika delar av byggnaden. Någon typ av hinder som står före uppbrottet kan ha betydelse för släckeffektiviteten. Det krävs dock en mer systematisk forskning om betydelsen av detta.

Det bör påpekas igen att de försök som har presenterats här gäller i rum utan brand. När det finns brand i rummet, kan den i sin tur påverka spridningen av vattendropparna. Hur stor denna inverkan kan bli är svårt att säga. En fortsatt forskning kring spridning av vattendroppar i brandrum är av stort intresse.

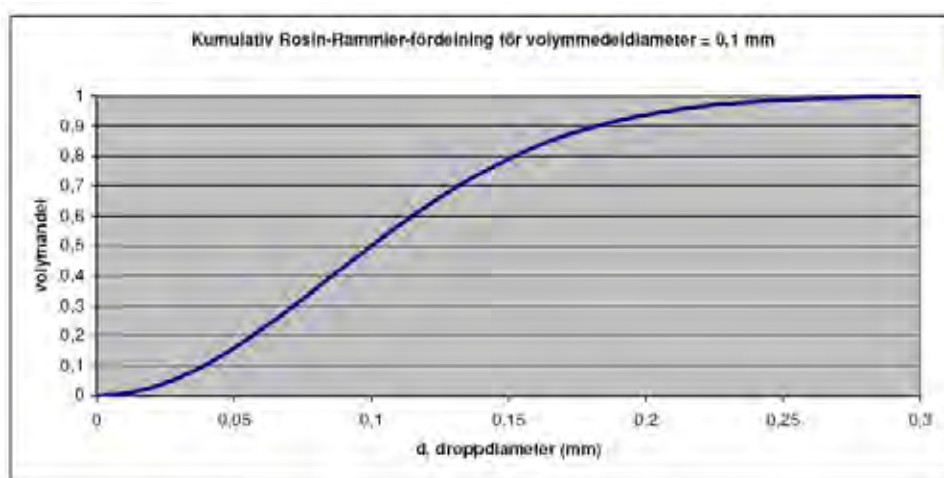
Droppstorlek

När det gäller droppstorleken hos skärsläckaren finns inga officiella droppstorleksmätningar att tillgå. I bilaga 9 i Annevi Fredängs och Joakim Hermanssons examensarbete (bilaga 9 är skriven av Göran Holmstedt, LTH Brandteknik) som återges i SRV rapporten och i referens på engelska, diskuterar man droppstorleksfrågan. Där står det att för den aktuella sprayen är droppstorleken inte känd, men ett rimligt antagande är att medelvolymsdiametern är ca. 0,1 m.m. Denna diameter nämns ofta i samband med diskussionen av droppstorleken hos skärsläckaren. Eftersom denna droppstorlek bygger på ett spekulativt resonemang finns det ett behov av mer noggrannare undersökning av droppstorleksfördelningen bortom uppbrottet efter 5 – 7 meter. Det är tämligen ointressant att göra mätningar före vattenstrålens uppbrott.

Bjerregaard och Olsson diskuterar frågan om droppstorlek för vattendimma men resonerar samtidigt om skärsläckarens fördelning av vattendroppar. De skriver att vattendroppar med små droppdiametrar brukar benämnas vattendimma i släcksammanhang. Enligt dem finns ingen klar definition för hur stora vattendropparna från ett släcksystem får vara för att definieras som vattendimma. NFPA 750 definierar vattensprayer med droppar mindre än 1 m.m. som vattendimma och gör en uppdelning i tre olika klasser. I klass 1, den finaste vattendimman, ska 90 % av dropparna vara mindre 0,2 m.m. och 10 % mindre än 0,1 m.m.

Bjerregaard och Olsson konstaterar som tidigare nämnts att droppstorleksfördelningen, dvs. sannolikheten för att en droppe har en viss volym, inte är känd för skärsläckaren. De beskriver hur

droppstorleksfördelningen kan uppskattas med olika statistiska fördelningsfunktioner. För vattensprayer används ofta en Rosin-Rammler-fördelning, som ger storleksfördelningen bland dropparna som en funktion av volymmedeldiametern. Den kumulativa (uppsamlade) droppstorleksfördelningen beskriver hur stor del av den totala volymen som utgörs av droppar med en diameter mindre än ett givet värde. Om den kumulativa Rosin-Rammler-fördelning som Särdaqvist ger för droppstorleken i vattensprayer och antagandet att volymmedeldiametern är 0,1 m.m., skulle enligt Bjerregaard och Olsson droppstorleksfördelningen i vattenssprayen från skärsläckaren se ut enligt **Figur 17**. Genom att hänvisa till definitionen i NFPA 750 resonerar Bjerregaard och Olsson sig fram till att skärsläckarens släckverkan kan baseras på de kunskaper som finns om vattendimma som släckmedel.



Figur 17 En tänkbar droppdiameter i vattenssprayen från en skärsläckare.

Kylning av brandgaser och inverkan av ventilationen

Flertalet rapporter beskriver genomförda brandförsök där kylningen av de varma brandgaserna med skärsläckare har dokumenterats. Inverkan av ventilationen har också dokumenterats i flera av dessa studier.

Bjerregaard och Olsson skriver att skärsläckaren har goda effekter vad gäller att sänka temperaturen i hela brandrummet oavsett var vattnet påförs, en viktig egenskap då det kan vara svårt att avgöra var branden är placerad. Vidare skriver de att resultat från tester indikerar dock att denna goda egenskap kan begränsas avsevärt beroende på omständigheterna i brandrummet. Bland annat påverkar ventilation i brandrummet skärsläckarens kylande egenskaper på brandgaserna. Ju mer slutet rummet är desto bättre kylande effekt uppnås. Det vatten som förångas av brandgaserna stannar kvar längre i ett väl tillslutet rum och på så sätt sänks temperaturen mer. Deras beskrivning bygger på information från olika referenser.

En annan faktor, som inte nämns i Bjerregaard och Olsson beskrivning, är inverkan av brandstorleken på effektiviteten. Bobert och Arvidson beskriver i sin försöksrapport där vattnet appliceras i små droppar erfarenheten att små bränder är svårare att släcka. I de öppna brandscenarier som inte släcktes med skärsläckaren var den minsta branden en 1 MW dieselbrand. Däremot släcktes dieselbränder som var 2 MW och 4 MW. Bobert och Arvidson skriver att graden av ventilation påverkar släckresultatet. Då storleken på ventilationsöppningar är begränsad släcks branden snabbare. Detta konstaterande påvisar nyttan av skärsläckarens förmåga att snabbt komma åt brandhärden utan att tillföra extra syre.

Ronny Fallberg et al skriver att inerteringen beror både på att förbränningen reducerar syrekoncentrationen, och att vattenånga bildas vid vattenpåföring, vilket sänker syrekoncentrationen ytterligare. Kylningen av flammen beror på att vattnet som tillförs värms upp och förångas.

Sammanfattningsvis kan man säga att förhållandet mellan vattendropparnas storlek, mängd och appliceringstid i kombination med temperaturnivån vid start av appliceringen, rumsvolymen och ventilationsförhållandena är en komplex interaktionsprocess som behöver undersökas mer systematiskt.

I följande avsnitt beskrivs ett antal viktiga försök där skärsläckaren har varit involverad och där man har gjort mätningar på temperatursänkningen i det varma brandgaslagret.

Brandförsök i Dösjebro och Oslo 2000

I SRV rapporten Skärsläckaren – Tillkomst och utveckling beskrivs försök som gjordes i en industrilokal i Oslo. Försökslokalen var belägen högt upp i byggnaden, vilket begränsade tillgängligheten. Lokalen i Oslo var 13 m lång, 10 m bred och takhöjden var 4 m vilket enligt rapporten motsvarar en rumsvolym på 600 m³. Omslutande ytor var av obrännbart material. På framsidan av lokalen fanns två fönster där ett höjdfordon med skärsläckare var uppställd. Fönstren var 2 m breda och 1.5 m höga, vilket motsvarar en area på 6 m². Som bränsle användes ungefär 200 lastpallar.

Den totala brandeffekten uppskattades till 10 – 12 MW. Lokalens termiska egenskaper hade betydelse för hur snabbt branden utvecklades. Ett försök genomfördes som var delat upp i 4 delförsök. När temperaturen hade sänkts ner till 200 grader C, ansågs försöket vara lyckat och därefter släpptes branden upp på nytt och tilläts växa till övertändning. Vattentrycket i systemet var 300 bar. Släckningen varierades mellan att först använda enbart pistolen med 40 l/min, därefter fastmonterad lans och pistolen (70 l/min), sedan enbart pistolen med 30 l/min och slutligen fast monterad lans och pistolen (70 l/min). Vattnet påfördes horisontellt utan att vara riktat mot själva brandhärden. Munstycket placerades strax utanför fönsteröppningen när påföringen startade. Vid användningen av pistolen fördes vattnet in genom i förväg konstruerat hål.

I samma rapport beskrivs även försök som gjordes på en bondgård utanför Dösjebro, som är beläget i Kävlinge kommun. Försöksbyggnaden bestod av ett gammalt svinstall med en golvyta som var 11 m lång och 8 m bred (90 m²). Takhöjden var 2.5 m, vilket innebär att volymen var 220 m³. Väggarna bestod av tegel och taket av brännbart träplank. På framsidan fanns en dörr som var öppen under hela försöket och fönster som öppnades strax efter brandstart. Totala arean på öppningarna var 3.84 m². Genom ett av fönstren fördes en lans på ett höjdfordon in och vatten tillfördes genom ett i förväg konstruerat hål.

Branden startades i ett antal lastpallar som placerades mitt i utrymmet. Det första släckförsöket påbörjades innan branden nått övertändning. När temperaturen hade sänkts ner till 200 grader C, ansågs försöket vara lyckat och därefter släpptes branden upp på nytt och tilläts växa till övertändning. Det var bara det första släckförsöket som påbörjades innan branden nått övertändning. Det tog ungefär 1 till 4 minuter att sänka temperaturen från övertändning till ca 200 grader C. Vattenflödet låg omkring 40 – 45 l/min och 200 bars tryck användes.

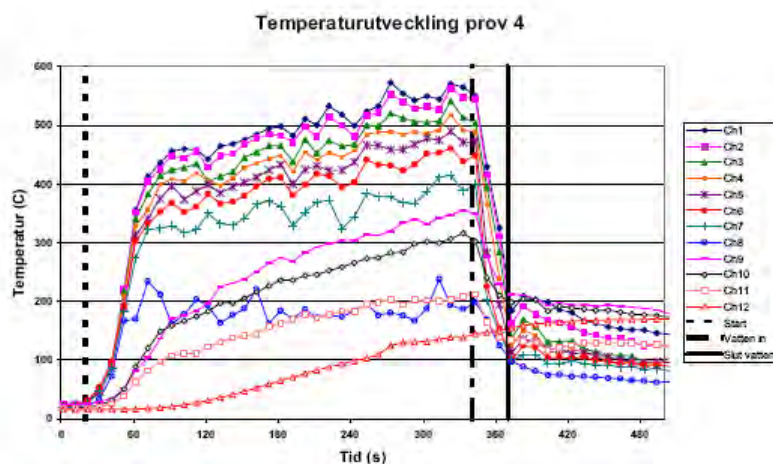
Brandförsök i Karlskrona 2000

Carlsén och Winkler genomförde försök med skärsläckare i en container i Karlskrona år 2000. Syftet med försöken var att bedöma skärsläckarens släckande egenskaper gentemot en realistisk brand ombord på ett fartyg. Ett storskaligt släckförsök genomfördes i en dubbelcontainer. Avsikten var att försöka åstadkomma ett brandscenario som skulle kunna liknas vid en brand i något utrymme ombord på Visbykorvetten.

Enligt Carlsén och Winkler användes en containern som var 2,4 m bred, 6,2 m lång och 5 m hög. På ena kortsidan fanns två dörrar med måtten 1,2×2,3 m (b×h) och på andra kortsidan fanns en dörr med måtten 0,85×2,05 m. Containers inre var avgränsad med en vägg. Denna vägg var försedd med en dörr med måtten 0,85×2,05 m, som hela tiden var helt öppen. Inne i containern placerades ett kärl med den area som simulerats fram, 2 m². I hörnet till vänster närmast provväggen inne i containern monterades en stapel med 8 termoelement på olika höjder, från 0,64 m till 2,67 m över containers golvet. Vid försöket med 2 m² pool nåddes en maxeffekt på cirka 2,2 MW och vid de resterande försöken med 3,2 m² pool blev maxeffekten cirka 3,6 MW.

Skärsläckarpumpen drevs av en dieselmotor i storleksordning 70 kW och levererar vatten med ett tryck på cirka 260 bar. Vattenströmningen genom munstycket som användes vid släckförsöken var cirka 28 l/min. Vid de fyra försöken valdes förbrinntiden till 5 min vid två försök och till 10 min vid de två andra försöken. Vattenpåföringstiden valdes till 30 respektive 60 sek efter att vattenstrålen skurit genom sandwichplattan vid varje förbrinntid.

Carlsén och Winkler beskriver att vid samtliga försök släcktes branden helt under den tid vatten påfördes. Vattenpåföringen var 30 sek vid två försök och 60 sek vid de två andra. Temperaturen sjunker kraftigt direkt då vattnet tränger in i containern (**Figur 18**). Vid start av skärning var den högsta temperaturen 550° C och när vattenpåföringen avslutades var den 210° C.



Figur 18 Temperatursänkning vid vattenpåföring vid det fjärde försöket. Vattenpåföringen var 28 l/min och appliceringstiden var 30 sek.

Enligt Carlsén och Winkler tanken inför försöken att ha väl tilltagen förbrinntid så att omgivande konstruktion skulle bli ordentligt uppvärmd, varpå vattenpåföring skulle ske en kort stund för att sedan avbrytas. Vid försöken verkade dock återantändning aldrig vara nära. Carlsén och Winkler resonerar så att scenariot som rådde vid släckförsöken var enklast tänkbara. Branden var förvisso kraftig men rummet var litet och inga som helst obstruktioner fanns mellan branden och provväggen.

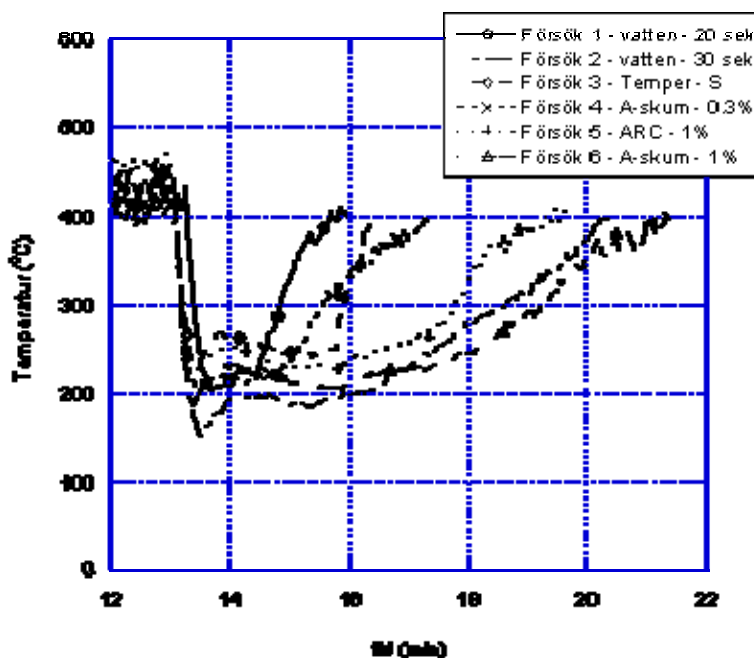
Brandförsök vid Guttasjön 2002

Försök med en skärsläckare genomfördes i Lulehuset på Guttasjö övningsfält hos räddningstjänsten i Borås. Brandkällan bestod av träribbstapel, 12 lager om åtta trästavar (730 m.m. x 40 m.m. x 40 m.m.) och placerades 0,4 m från väggen och 0,25 m från golv. Under träribbstapeln placerades ett kärl med heptan (3 liter vatten och 1 liter heptan). På väggar och tak runt om brandkällan monterades totalt 12 spånskivor (2,5 x 1,2 x 0,12 m). Dubbla skivor användes i det hörn där träribbstapeln stod. Den totala exponerade ytan blir då 30 m monterades på ett stativ (fixture) vid en vägg i en korridor som ansluts mot brandrummet, för att uppnå en kastlängd på 6 m, dvs. motsvarande uppbrottets längd. Höjden från golv på skärsläckarlansen var 1,27 m.

Till försöken användes en skärsläckare som var placerad på en bil. Trycket vid pumpen var 300 bar, varvtalet var 2.500 rpm, slangens diameter var ½

tum. Slangens längd var 30 m, och den var kopplat till en handlans. Försök både med och utan tillsatsmedel genomfördes. Flödet var 50 l/min.

Temperaturer uppmättes på två olika platser i brandrummet och på två olika nivåer, 0,15 m under tak och 1 m över golv. De två första försöken genomfördes med enbart vatten. Vattenappliceringen startade efter 10 min från antändning samtidigt som man såg till att temperaturen i taket hade uppnått 400° C. Vattnet påfördes under en period av 20 sek respektive 30 sek. Därefter genomfördes 4 försök med olika tillsatsmedel och inblandningsförhållanden. Branden blev inte helt släckt i något av försöken men i samtliga fall så dämpades den avsevärt. Påföringstiden var 20 sek i samtliga fall.



Figur 19 Temperaturer i tak vid de olika försöken

I samtliga fall sjönk temperaturen snabbt från drygt 400 grader C ner till ungefär 200 grader C under appliceringstiden. Någon skillnad i kyleffekten, beroende på om det fanns tillsatsmedel i vattnet eller ej, syns inte i datan, se **Figur 19**.

Sammanfattningsvis har tillsatsmedel i vattnet inverkan på återantändningstiden. Det innebär att man bättre kan utnyttja effekten av tillförd mängd vatten med användande av tillsatsmedel.

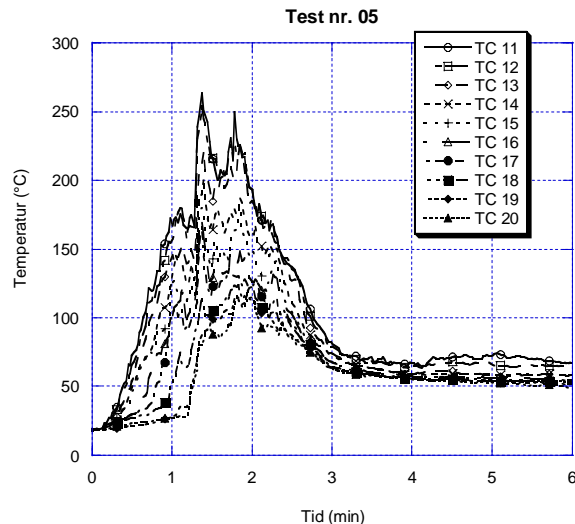
Brandförsök på SP 2002

Bobert och Arvidson genomförde på uppdrag av FMV ett antal släckförsök med skärsläckaren i ett 500 m³ stort stålhus på SP Brandteknik. Syftet med försöken var att utreda skärsläckarens förmåga att bekämpa dieselpoolbränder och heptanspraybränder och utvärdera skärsläckaren för brandbekämpning på Marinens korvetter av typ Visby. Totalt genomfördes 15 försök varav två försök utfördes som fribrinnande referensförsök utan insats med skärsläckaren. De parametrar som varierades var storlek och typ av brand, förbrinntid och ventilationsgrad. Även inverkan av skumtillsats undersöktes men det behandlas inte i denna rapport. Dessutom utfördes försök med avskärmning av skärsläckarens stråle samt branden i syfte att undersöka inverkan av eventuella hinder i försöksrummet.

Enligt Bobert och Arvidson var försöksrummet utrustat med tre stycken ventilationsöppningar i taket vilka möjliggjorde att ventilationsgraden kunde varieras under försöksserien. En stor kvadratisk öppning på 6.3 m² var placerad centralt ovanför branden och två mindre öppningar på 0.56 m² var placerade diagonalt i två av rummets hörn. Tre olika storlekar på dieselpoolbrand användes i försöken. I samtliga försök användes cirkulära bål där den nominella effekten (HRR) var 1 MW, 2 MW samt 4 MW vid bränslekontrollerad brand. Försöken med spraybrand utfördes med en lågtrycks heptanspray som hade en nominell effekt på 1.2 MW.

Skärsläckaren bestod av en handburen modell som arbetar med 300 bars tryck. Två olika typer av munstycken med något olika karakteristik användes. Dels ett "standard" -munstycke, Ø 2.2 m.m., och dels en "kort" variant, Ø 1.8 m.m. Inför försöken uppmättes flöden vid 300 bars tryck där standard munstycket gav 48 l/min och det korta 42 l/min.

Skärsläckaren placerades på en ställning utanför försöksrummet och riktades in genom ett litet hål i väggen 2 m från den vänstra långsidan av försöksrummet. Strålen riktades parallellt med långsidan så att vattenstrålen ej träffade branden direkt. I två försök placerades ett hinder i form av en plåt i försöksrummet i syfte att störa strålen från skärsläckaren. Under försöken användes sammanlagt 30 stycken termoelement för registrering av temperaturen i försöksrummet, fördelat på två termoelementstaplar. Vidare mättes syrgaskoncentrationen på två ställen samt värmestrålningen från branden.



Figur 20 Temperatur i tak i försök 5, där brandeffekten var 4 MW och ventilationsöppningarna var två små öppningar.

I **Figur 20** visas ett försök ifrån försöksserien med poolbränder och liten ventilation (två små hål, vardera 0.56 m²). Temperaturen sjunker snabbt från 362 grader C ner till ungefär 60 grader C, då branden är släckt. Enligt rapporten var släcktiden i det aktuella försöket en minut och 10 sek.

Bobert och Arvidson konkluderar att i förhållande till det relativt låga vattenflödet kan man dra slutsatsen att skärsläckaren fungerar mycket väl för att kontrollera eller släcka pool- eller spraybränder i ett slutet rum med begränsad ventilation. Brandproven har utförts i relativt stort utrymme jämfört med utrymmen på korvetter av typ Visby. I ett mindre utrymme med mindre tillgång till syre kan man förvänta sig effektivare släckförmåga. De skriver också att referensförsöken utan insats med skärsläckaren visar att skärsläckaren har en släckande effekt, och framför allt, en förmåga att sänka temperaturen avsevärt. Skärsläckarens stora fördel måste anses vara dess förmåga att snabbt komma åt branden utan att tillföra syre och kontrollera/släcka branden och samtidigt sänka temperaturen i rummet. Detta medför att en andra insats underlättas avsevärt.

Brandförsök i Kuopio 2003

Hösten 2003 genomfördes fullskaleförsök i en stor lokal på Finlands brandskola i Kuopio. Syftet var att undersöka kapaciteten hos skärsläckare för kylning av brandgaser i en stor lokal med syfte att möjliggöra en brandgasventilation.

På övningsfältet i Kuopio finns det en industribyggnad av containers. I lokalerna har tak och väggar isolerats. Av dessa hade det större inermåttan 27 m lång, 8,45 m bred x 7,90 m hög, med en volym av cirka 1.700 m³. I lokalen fanns en stor port på 4 x 4 m med en gångdörr i den ena porthalvan på 2 x 1 m. Under porten var det en springa på 4 x 0,15 m. I andra ändan av

lokalen fanns en gångdörr 2 x 1 m och på ena långsidan 3 öppningar som var 0,93 x 0,93 m. Under brandförsöken var förutom springan under porten gångdörren i porten och en öppning i sidan av byggnaden öppna.

Branden bestod av 500 liter dieselolja som hälldes i två kar med en sammanlagd yta på 8,3 m². Detta motsvarar en brand på ca 10 MW. Av byggnadstekniska skäl fick temperaturen högst gå upp till 600 grader C. Mätningarna gjordes på flera olika platser i brandrummet.

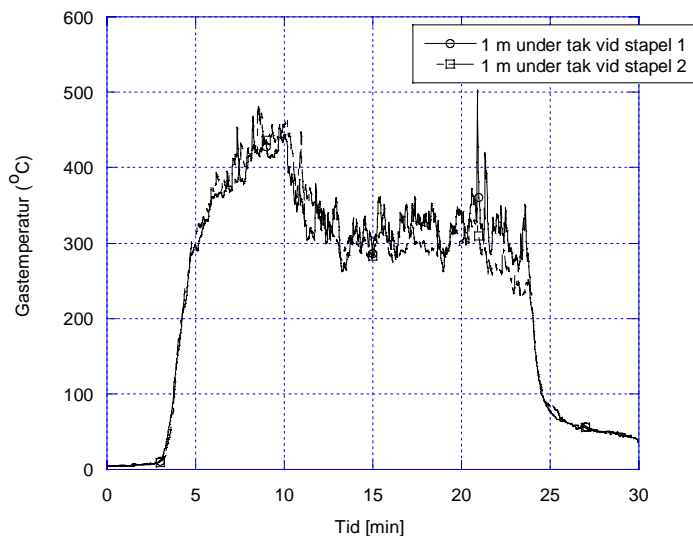
Två försök genomfördes med skärsläckaren, först med en handlans och sedan med två handlansar. Alla försök pågick i 30 min.

Försök 1

Syftet var att undersöka kylningseffekten med en skärsläckare med 50 l/min och 300 bars tryck (trycket gäller vid pump och flödet är det angivna enligt tillverkare). En handlans var placerad i den ena porthalvan. Handlansen var fixerad i ett stativ så att vattenstrålen inte skulle träffa termoelementen direkt. Lutningen på handlansen var cirka 20 grader.

Två minuter efter tändning var hela lokalen fylld med tjock svart rök och 8 min efter tändning startades skärsläckaren. Då var den genomsnittliga temperaturen 430 grader C en meter under tak. Cirka 1 min efter skärsläckaren startat blev det en viss färgförändring i brandgaserna och temperaturen sänktes med 40 grader C.

Efter ytterligare 1½ minut blev färgen mer gråsvart på brandgaserna och temperaturen sjönk till 330 grader C för att efter ytterligare 1 min skifta mer mot gråvitt och en genomsnittlig temperatur runt 300 grader C en meter under tak för att sedan ligga mellan 270 till 350 grader C under resterande tid som skärsläckaren kördes. Skärsläckaren kördes i 10 min.

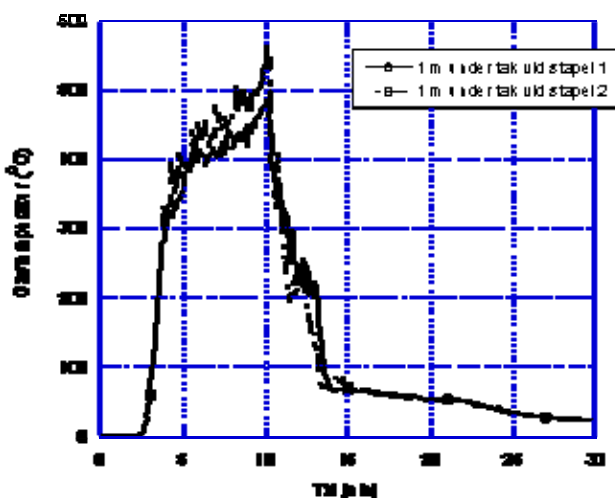


Figur 21 Uppmätta gastemperaturer 1 m under tak med 50 l/min

Försök 2

Syftet med det andra försöket var att undersöka hur mycket effektivare det är med två skärsläckare mot att använda endast en för att stor lokal.

Två skärsläckarlansor placerades i markplan med 20 graders lutning. Den ena lansen var placerad som tidigare i den stora porten, den andra i motsvarande gavel i gångdörr. Här blev det den dubbla mängden vatten 100 l/min och trycket vid handlansen cirka 260 bar.



Figur 22 Uppmätta gas temperaturer under tak med 100 l/min

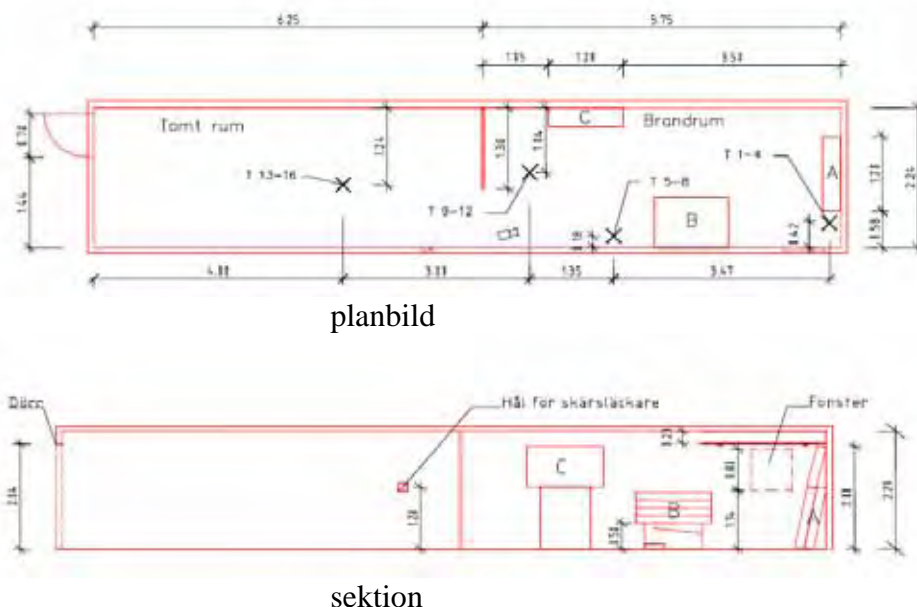
Innan skärsläckarna startade var den genomsnittliga temperaturen en meter under tak cirka 500 grader C. Ungefär en minut efter det att skärsläckaren startats blev det en färgförändring i de utströmmande brandgaserna och den genomsnittliga temperaturen sjönk till ungefär 300 grader C. Efter 2,5 min hade färgen på brandgaserna övergått till gråvit nyans. Ungefär 4 min efter start var den genomsnittliga temperaturen en meter under tak 90 grader C och bränderna hade slocknat. Att branden slocknar kan i första hand förklaras av kylningen av brandgaserna och inertering av miljön i brandrummet.

Brandförsök i Revinge 2007

Folkesson och Millbourn genomförde försök i Revinge 2007 som en del i en jämförelse mellan olika släcksystem lämpade för lätta räddningsfordon. Syftet med försöken var att undersöka släcktekniska egenskaper för respektive system vid ett givet brandscenario, däribland skärsläckaren. Till försöken användes en COBRA högtryckssystem med ett tryck från pumpen på 250-300 bar vid ett flöde på 50 l/min.

Försöken utfördes i en container som var uppdelad i två rum med en skärmvägg av stålplåt. Taket och väggarna var gjorda av två lager stålplåt (det yttre 5 mm och det inre 1,5 mm tjockt) med ca 50 mm luftspalt i mellan. Golvet var täckt med 50 mm tjocka betongplattor. Öppningarna motsvarade en dörr (area 1,4 m²) och ett fönster (area 0,5 m²) som var öppna hela tiden under samtliga försök.

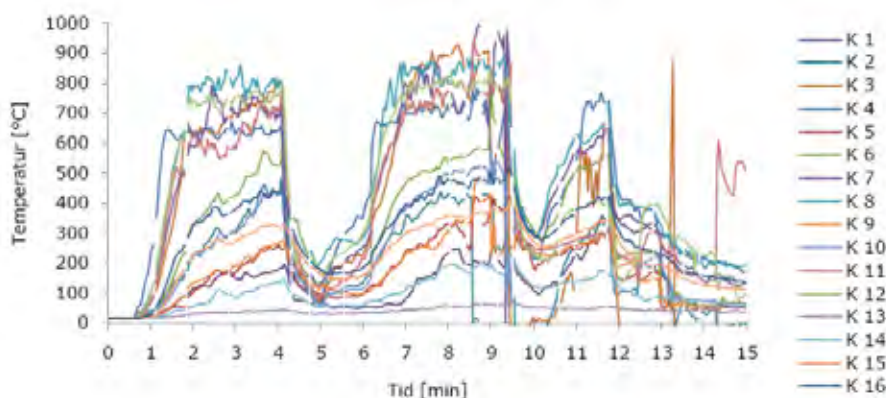
Temperaturen registrerades på fyra olika höjder över golvet. Tre bränslepaket, markerade med A, B och C och visas i **Figur 23**.



Figur 14 Plan- och sektionsskiss av försöksuppställning

Folkesson och Millbourn bestod bränslepaket A och C av tre lastpallar av trä vardera. Två lastpallar stod på högkant intill varandra och lutade mot väggen, den tredje stod på långsidan ovanpå de andra lastpallarna. Bränslepaket B bestod av ett heptanbål samt fyra lastpallar. Heptanbålet utgjordes av ett cirkulärt stålfat avplanat med vatten och var placerat på golvet under en öppen ställning som lastpallarna staplades på. För att förhindra direkt släckning av heptanbålet placerades en plåt i ställningen. Ovanför bränslepaket A, ca 0,2 m under taket, placerades två träfiberskivor av hardboard-typ med densiteten 1004,1 kg/m³ på två träreglar.

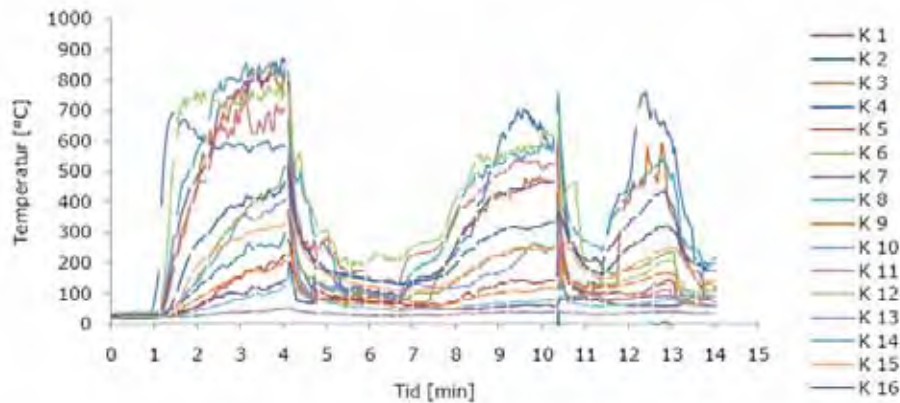
Totalt tio trälastpallar användes till varje försök (av typ Europall med massa ca 17,5 kg/st). Som tändmaterial användes remsor av träfiberskiva av softboard-typ med densiteten 229,17 kg/m³ vilka dränktes in med diesel. Två remsor var placerade i varje bränslepaket, i A och C stående mellan de två undre lastpallarna och i B mellan de två undre lastpallarna. Antändningen av tändmaterialet och heptanbålet skedde manuellt med propangasbrännare. Maximal effektutveckling i rummet, vid ventilationskontroll, uppskattades till mellan 4 och 5.5 MW.



Figur 15 Temperaturmätningar i brandrummet.

Vid första försöket (försök 3) med skärsläckaren, se Figur 15, där appliceringstiden var 60 sekunder, sjönk temperaturen från ca 550°C initialt snabbt ner till drygt 200°C för att sedan plana ut ner mot 100°C. Då släckningen avslutats återantändes bränslet, vilket återspeglas i temperaturmätningarna från försöket.

I det andra försöket (försök 4) med tre gånger så lång släcktid (180 sekunder) sjönk temperaturen till strax under 100°C (Figur 25). Efter att släckningen avslutats tillväxte branden i B snabbt och temperaturen i brandrummet ökade igen.



Figur 25 Temperaturmätningar i brandrummet

Folkesson och Millbourn resonerar utifrån enkätsvar och resultaten från försöken med skärsläckaren. De skriver att de vanligaste användningsområdena är vid brand i ventilationskontrollerade utrymmen eller dolda utrymmen. Folkesson och Millbourn anser att deras försök kan betraktas som ventilationskontrollerade. Att resultaten vad gäller återantändning i dessa försök jämfört med Bobert och Arvidson blir annorlunda kan bero på olika typer av bränsle, öppningarnas placering och, i viss mån, area. De tror att graden av ventilationskontroll var avsevärt större vid Bobert och Arvidson försök. Således skulle det kunna vara så att ventilationsfaktorn, utöver bränsletypen, är en förklaring till att resultaten skiljer sig i jämförelse med Bobert och Arvidson försök.

Sammanställning av temperatursänkningar

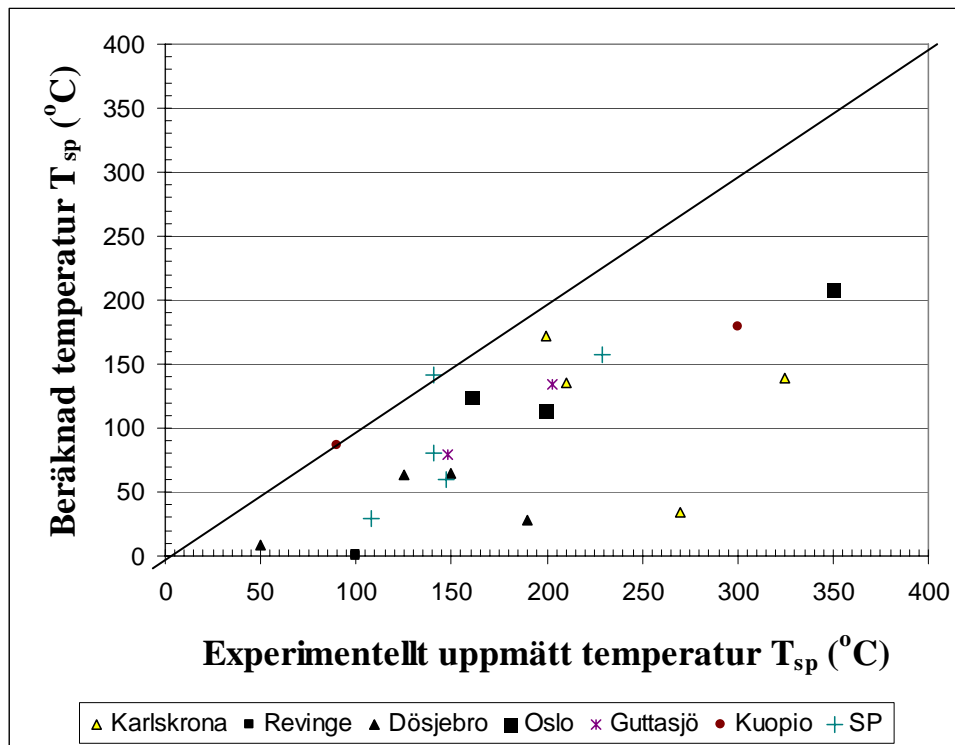
Tidigare har brandförsök som har gjorts med skärsläckaren beskrivits. I de flesta av dessa försök, har temperatursänkningen i brandgaserna mätts. I inget av dessa försök, förutom de som Bobert och Arvidson redovisar, har mätning av syrgashalten i brandgaserna gjorts. För att bättre förstå informationen och jämföra resultaten mellan försöken, har en sammanställning gjorts. I **tabell 6** visas den högsta temperaturen (T_{max}) vid start av skärsläckaren och temperaturen när vattenpåföring slutar (T_{sp}). Även brandeffekt, flöde/tryck, volym, area öppningar, förbrinningstid och påföringstid har sammanställts i samma tabell.

Det går att ta fram en enkel matematisk modell som beskriver förhållanden mellan påföringstid, starttemperatur, vattenflöde och rumsvolym. Om man antar att allt vatten förångas när det påförs in i rumsvolymen så kan följande ekvation beskriva förhållandet mellan temperatursänkningen, rumsvolymen och flödet som funktion av appliceringstiden i sekunder.

$$T(t) = T_{\max} \cdot e^{\left(\frac{-H_w \dot{q}_w}{60 \cdot c_p \cdot V \cdot \rho_0 \cdot T_0} \cdot t\right)} \quad (4)$$

Här är T_{\max} temperaturen vid start av applicering, H_w vattnets totala förångningsvärme 2600 kJ/kg (inkluderar uppvärmning från rumstemperatur upp till 100 °C), q_w vattenflödet i l/min, c_0 luftens värmekapacitet (kJ/kg K), V är rumsvolymen i m³, ρ_0 luftens densitet vid rumstemperatur (kg/m³), T_0 är luftens rumstemperatur i K och t är tiden i sekunder. Data från **Tabell 5** har plottats i **Figur 26** som visar jämförelse mellan uppmätta temperaturer (experimentellt uppmätta temperaturer T_{sp}) och beräknade temperaturer (beräknad temperatur T_{sp}) enligt ekvation (17).

Det finns ett svagt samband mellan beräknad och uppmätta värden och sambandet är långt ifrån entydigt för all data. De beräknade värdena hamnar under lika-värde linjen som har ritats in i **Figur 26**. Det är tecken på att beräkningarna överskattar förångningseffektiviteten vid försöken. Sannolikt förångas heller inte allt vatten som sprutas in i brandrummet. Ekvation (17) bygger på ett mycket enkelt antagande, nämligen att allt vatten förångas, och att hela volymen har en homogen temperatur. Detta är inte möjligt att åstadkomma experimentellt, och dessutom representerar inte alltid de uppmätta temperaturvärdena, någon typ av medeltemperatur för hela rumsvolymen. Till detta skall läggas svårigheten med att mäta gastemperaturer korrekt då termolementen utsätts för värmestrålning i olika grad från flammor i närområdet och att de kan "vätas".



Figur 26 Jämförelse mellan beräknad och uppmätta gas temperaturer enligt data från Tabell 6.

Tabell 4 Sammanställning av data från brandförsök.

Försöksplats	Försöknr	Bränsle	Flöde l/min)/ tryck (bar)	Brand- effekt (MW)	Brandrums- volym(m3)	Area öppningar (m2)	T _{max} (oC)	T _{sp} (oC)	T _{sp} /T _{max}	Förbrtid (min)/ Påföringstid (s)	Släckning/ återantändning
Karskrona	1	2 m ² dieselbalja	28/280	2.2	74	1.75	440	200	0,45	5/20	släckt
Karskrona	2	3.2 m ² dieselbalja	28/280	3.6	74	1.75	565	325	0,58	10/30	släckt
Karskrona	3	3.2 m ² dieselbalja	28/280	3.6	74	1.75	570	270	0,60	10/60	släckt
Karskrona	4	3.2 m ² dieselbalja	28/280	3.6	74	1.75	550	210	0,38	5/30	släckt
Revinge	3	lastpall, träfiber-skiva,heptan-bål	50/300	4 – 5.5	61.6	1.9	550	100	0,18	3.3/60	återantänt
Revinge	4	lastpall, träfiber-skiva,heptan-bål	50/300	4 – 5.5	61.6	1.9	530	100	0,19	3/180	återantänt
Dösjebro	1	lastpallar	40/200	6.5 ¹⁾	250	3.84	350 ²⁾	125 ²⁾	0,36	9/86 ²⁾	återantänt
Dösjebro	1	lastpallar	40/200	6.5 ¹⁾	250	3.84	575 ²⁾	150 ²⁾	0,26	3/110 ²⁾	återantänt
Dösjebro	1	lastpallar	40/200	6.5 ¹⁾	250	3.84	650 ²⁾	190 ²⁾	0,29	2/158 ²⁾	återantänt
Dösjebro	1	lastpallar	40/200	6.5 ¹⁾	250	3.84	700 ²⁾	50 ²⁾	0,07	7/221 ²⁾	släckt
Oslo	1	200 lastpallar	40/200	10-12	600	6	460 ³⁾	200 ³⁾	0,43	15/170 ³⁾	återantänt
Oslo	1	200 lastpallar	70/(-)	10-12	600	6	525 ³⁾	160 ³⁾	0,30	4.5/100 ³⁾	återantänt
Oslo	1	200 lastpallar	30/300	10-12	600	6	560 ³⁾	350 ³⁾	0,63	6.8/160 ³⁾	återantänt
Oslo	1	200 lastpallar	70/(-)	10-12	600	6	500 ³⁾	180 ³⁾	0,36	5.3/EK ³⁾	återantänt
Guttasjö	1	30 m ² spånskivor och träribbstapel	50/300	4-6 ⁴⁾	110	3	414	203	0,49	10/20	återantänt
Guttasjö	2	30 m ² spånskivor och träribbstapel	50/300	4-6 ⁴⁾	110	3	430	148	0,34	10/30	återantänt
Kuopio	1	8.3 m ² dieselbalja	50/300	10	1700	3.5	430	300	0,70	10/600	Ej släckt
Kuopio	2	8.3 m ² dieselbalja	50/300	10	1700	2	500	90	0,18	10/240	släckt
SP	2	1.58 m ² dieselbalja	42/300	2	500	0	220	147	0,67	1/125	släckt
SP	3	1.58 m ² dieselbalja	48/300	2	500	1.12	233	108	0,46	1/174	släckt
SP	4	1.58 m ² dieselbalja	48/300	2	500	1.12	344	141	0,41	2/122	släckt
SP	5	2.84 m ² dieselbalja	48/300	4	500	1.12	362	229	0,63	1/70	släckt
SP	6	2.84 m ² dieselbalja	48/300	4	500	7.42	390	142	0,36	1/85	släckt

1) beräknat utifrån fönsterarea

2) uppskattade värden ifrån figur 6 i ref

3) uppskattade värden ifrån figur 7 i ref

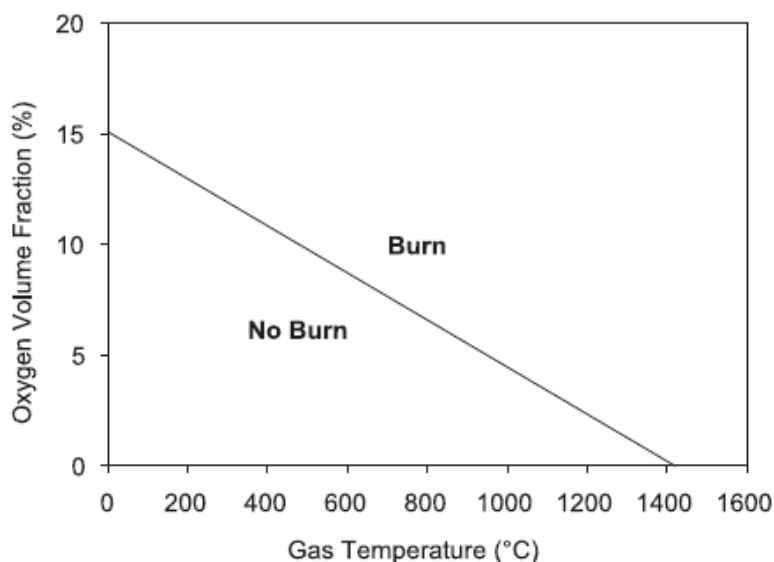
4) uppskattad utifrån öppningar och ytan på materialet

Ekvation (17) kan dock användas för att se sambandet mellan påföringstid, rumsvolym och vattenflöde. Om vi till exempel har två lokaler där den ena är dubbelt så stor som den andra, och vi har samma vattenflöde, så kommer tiden att fördubblas för att uppnå samma kylningseffekt (kvoten mellan temperaturen vid slutet av appliceringen $T(t) = T_{sp}$ och högsta temperaturen vid start av appliceringen T_{max}). Ekvation (17) visar också att om vi fördubblar vattenflödet men har samma volym (exempelvis i fallet Kuopio) så kommer tiden för att uppnå samma kylningseffekt att halveras.

Annan intressant observation från **Tabell 6** är att alla utom ett försök med diesel (Kuopio) slocknade i den miljö man provade skärsläckaren. I de försöken varierade kylningseffekten (T_{sp}/T_{max}) från 0.18 – 0.70 för dieseln och 0.07 – 0.63 för trämaterial. Det visar att skärsläckarens kylningsförmåga varierar mycket och att den till stor del beror på rumsvolym, vattenmängd, ventilation och typen av bränsle. Att dieseln slocknar är en kombinationseffekt av kylning och interering. Samma sak med trämaterial förutom att glödbranden kvarstår när appliceringen slutar, vilket gör att det blir en återantändning.

Inverkan av inertering

Det är känt sedan länge att om den omslutande syrekonzentrationen i närområdet av brandhärden sjunker till en viss nivå, så slocknar branden. Denna nivå kan variera och den är temperaturberoende. I **Figur 27** visas ett teoretiskt samband mellan lokal syrgaskonzentration och gas temperatur. Om syrgaskonzentration sjunker under ett visst värde, som i sin tur är beroende av gas temperaturen, så slocknar branden (burn/no burn). Det samband som visas i **Figur 27** används i datorprogrammet FDS27. När gas temperaturen är till exempel 200 grader C, då kommer branden att självslockna vid ungefär 12 – 13 %. Syrgaskonzentration sjunker linjärt med temperaturen som omsluter branden.



Figur 27 Ett samband mellan syrgaskonzentration och gas temperatur som visar när en förbränning kan ske eller inte.

Hur snabbt en brand slocknar när skärsläckaren startar beror delvis på syrgaskonzentration och temperaturen vid start. I försöken på SP som Bobert och

Arvidson genomförde uppmättes syrgaskoncentration i brandgaserna på två olika nivåer, 1 m nedan tak och 4.5 m nedan tak. I **Tabell 7** redovisas uppmätta värden på syrekoncentrationen i 500 m³ rummet som användes i SP försöken presenterade.

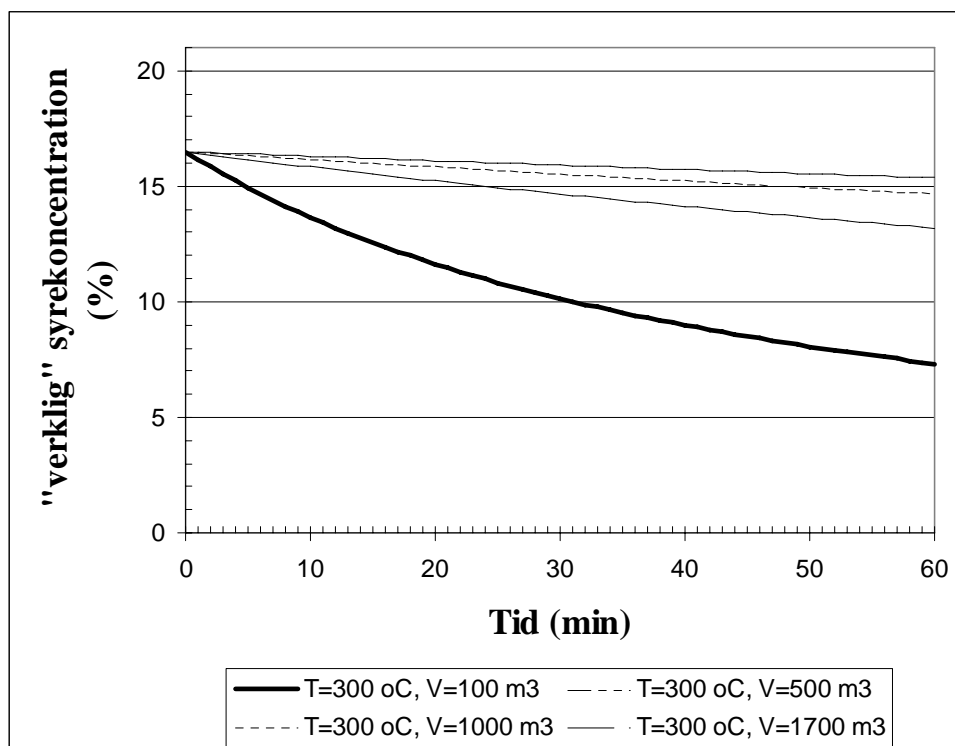
Tabell 7 Uppmätta syrehalter i försöken på SP 1 m nedan tak.

Försök nr	Brandstorlek	Tmax/Tsp	Påföringstid (sek)	O2 (%) vid start av vattenpåföring	O2 (%) vid släckning
2	2	220/147	125	19.93	16.94
3	2	233/108	174	20.00	16.38
4	2	344/141	122	18.80	16.59
5	4	362/229	70	19.36	16.60
6	4	390/142	85	20.25	17.20

I alla utom ett av försöken (nr 6) slocknade branden när syrekoncentrationen uppmättes till 16 – 17 % en meter nedan tak. I försök 6, var ventilationsöppningen större än i de andra försöken, vilket kan förklara varför syrehalten var lite högre i det försöket. Innan syrgaskoncentration mäts torkas emellertid vattenången i gasen bort av mättekniska skäl. Detta gör att man erhåller något högre värden än vad det är i verkligheten. Med hjälp av allmänna gaslagen och beräkning av hur mycket vattenånga som kan bildas under en given appliceringstid, förutsatt att allt vatten förångas, kan man härleda följande uttryck som anger sambandet mellan ”torr” syrehalt (uppmätt) och ”våt” syrehalt (verklig) för gas temperaturer över 100 °C:

$$X_{O_2, \text{våt}} = \frac{X_{O_2, \text{torr}}}{\frac{Q_w}{M_{H_2O}} \frac{RT}{PV} + 1} \quad (18)$$

där X_{O_2} är syrekoncentrationen i procent, $Q_w = q_w \cdot t$ är den totala vattenmängd som förångats i g, R är allmänna gaskonstanten $8.20575 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/K mol}$, T är gas temperaturen i Kelvin, P är 1 atm, V är rumsvolym i m³ och M_{H_2O} är molmassa för vatten 18 g/mol. För att åskådliggöra hur ekvation (18) fungerar har vi i plottat för olika rumstorlekar hur den ”verkliga” syrekoncentrationen förändras i ett rum som är initialt 300°C när man börjar spruta in 50 l/min. Den initiala syrekoncentrationen är 16.5 % (verklig) och därför har branden inte slocknat (den måste under 15 % enligt teorin redovisad i Fel! Hittar inte referenskölla.). När vattnet påförs inerteras brandgaserna (späds ut) på grund av att vattnet förångas och den verkliga syrehalten sjunker under 15 % vilket innebär att branden så småningom slocknar.

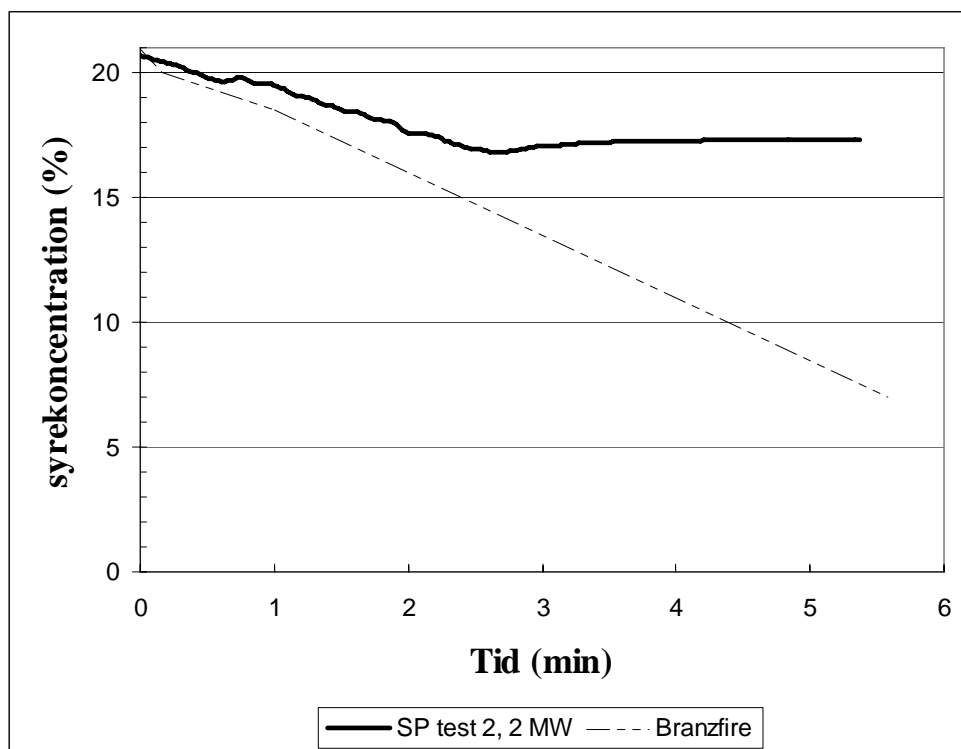


Figur 28 Syrgaskoncentrationen som funktion av tiden och rumsvolymen i ett rum som är 300 grader C och har en "verklig" syrgaskoncentration på 16.5 %.

Det är väldigt tydligt att rumsvolymen och mängden vatten har en väldigt stor betydelse för hur inerteringen påverkas. Ju, mindre rum och längre påföringstid, desto större inverkan.

I ett exempel från Boberts och Arvidsons, mätte de en "torr" syrekonzentration på 16.6 % (försök 5) efter 70 sek vid ett flöde på 48 l/min, då branden slocknade. Vid det tillfället uppmättes brandgastemperaturen till 229 grader C. Om man vill veta vad den "våta" (eller verkliga) syrgaskoncentrationen var vid detta tillfälle och antar att hela vattenmängden förångas, blir det $48 \text{ l/min} / 60 \times 70 \text{ sek} = w Q = 56000 \text{ g}$ vattenånga som har förångats under den aktuella perioden. Om angivna värden tas med i ekvation blir $O \text{ våt } X, 2 = 13.1 \%$. Detta värde stämmer mycket bra med gränsen för "no burn" i **Figur 27**. Bidraget från vattenångan ligger i storleksordningen 2.4 % jämfört med hela sänkningen som var 7.8 %. Detta visar att inerteringen på grund av själva vattenångan har en viss betydelse men största bidraget kommer från själva brandhärden.

Man kan räkna på bidraget från branden i ett slutet utrymme (ingen ventilation) med hjälp av tvåzonmodellen Branzfire. Om försök 2 i Tabell 7, där ingen ventilation fanns, undersöks blir resultatet med hjälp av Branzfire att syrgashalten sjunker linjärt enbart på grund av branden.



Figur 29 Jämförelse mellan uppmätta syrgakoncentration i SP försök nr 2, där branden var 2 MW och rummet helt stängt, och resultat från beräkningar med Branzfire.

Det framgår av **Figur 29** att överensstämmelsen är god, vilket visar att branden sänker syrehalten i brandrummet snabbt, något som påverkar slutresultatet.

Sammanfattning

Det som är viktigt att konstatera efter denna genomgång är att släckningen av branden sker genom kombination av kylning, inertering på grund av förångning av vatten som tränger undan syremolekyler och därmed sänker syrekonzentrationen (späder ut) och genom att branden själv producerar inerta förbränningsprodukter som sänker syrekonzentrationen.

Skärsläckarens kylningsförmåga varierar beroende till stor del på rumsvolymen, vattenmängd, ventilationen och typen av bränsle. När syrekonzentrationen i närområdet av branden börjar närma sig 15 % eller mer som en följd av temperaturen, börjar förbränningen kraftigt påverkas vilket till slut leder till att branden släcks.

De parametrar som är viktigast förutom tidsfaktorn är därför rumsvolymen, ventilationsgraden, vattenflödet och dess egenskaper (droppstorlek t.ex.) samt bränslets storlek och typ. Detta förklarar varför man kan släcka en vindsbrand genom att spruta in vatten långt borta från brandkällan. På grund av den relativt varma gastemperaturen förångas vattnet vilket ”späder” ut brandgaserna och höjer därmed syrekonzentrationen över tröskelvärdet för släckning.



7. Slutsatser om släckningsförmågan

I rapporten har beskrivits hur droppstorleken inverkar vid brandsläckning. Grunden till detta är bedömningen att en skärsläckare producerar vattendroppar i samma storleksområde som den typ av fasta släcksystem som kallas vattendimma. Emellertid saknas detaljerade studier och mätdata för skärsläckarsprayen både vad avser droppstorlek och exempelvis över hur kastlängd och droppar påverkas av eventuella variationer i vattentryck, flöde och vattenmunstycke.

Generellt ger skärsläckarens mindre droppar en förhöjd kontaktyta mot de varma brandgaserna per liter vätska jämfört med traditionella sprinklersystem. Detta leder till att vattnet kan utnyttjas mer effektivt för att kyla brandgaser genom direktkontakt och förångning men också genom en ökad absorption. Det finns studier som visar att mindre droppar i sig har en bättre absorptionsförmåga än stora. De mindre vattendropparna absorberar således mer effektivt strålningsvärme vid samma mängd tillförd vätska som ett traditionellt vattenbegjutningssystem. De mindre dropparna kommer också att påverkas mindre av gravitation och därmed ges möjlighet till en längre uppehållstid och chans till förångning i gasfasen. En minskad vattenmängd medför en större chans till förångning då mer värme används till detta istället för att enbart värma upp en större vattenkvantitet.



8. Förslag till fortsatt förbättring av skärsläckarkonceptet

Studierna av erfarenheterna från skärsläckarkonceptets användningen vid genomförda insatser för att bekämpa bränder inklusive genomgången av litteratur m.m. leder till förslag att ett antal områden blir föremål för fortsatt forskning och utveckling i syfte att förbättring av skärsläckarkonceptet ytterligare. De områden som har prioriterats är följande:

- droppstorleksfördelningen vid användningen av skärsläckaren och påverkan på droppstorleken vid eventuell variation i tryck - *denna information finns inte tillgänglig i dagsläget men är viktigt att ta fram för att kunna förklara när och hur skärsläckaren fungerar*
- påverkan av ventilationsöppningar på skärsläckarens förmåga att släcka - *ventilationen är en av de viktigaste parametrarna vid brandbekämpning och ventilationens betydelse då skärsläckaren används bör undersökas genom försök och teoretiska studier mer systematiskt*
- skärsläckarens funktion i en välkontrollerad brand vid varierad bränsletyp och ventilation - *hur känslig skärsläckaren är för inertering i relation till bränslets typ, geometri och placering i rummet samt strålens placering i förhållande till bränslet bör undersökas*
- betydelsen av att vattenstrålen kan bryta upp för skärsläckarens effektivitet – *förklaringar till erfarenheterna från försök som visar att skärsläckaren kan begränsa brand vid t.ex. takbränder då strålen inte tillåts brytas upp och påföringen endast varar ett par sekunder eller om strålen träffar på ett föremål på vägen fram till brandhärden alternativt att man skjuter långt från brandkällan*

De rapporterade och redovisade exemplen på insatser med skärsläckaren visar att skärsläckaren används aktivt vid insatser i olika delar av landet, men att det finns ett

behov av att tydligare beskriva hur släckningen bör genomföras och skapa förståelse för vilken effekt olika insatser faktiskt har. Förbättrad kunskap skulle underlätta erfarenhetsutbyte inom räddningstjänsten och påskynda införandet av den nya släckningstekniken i hela landet.

SÄRF har noterat i utbildningen under de senaste åren att de lokaler och övningsanordningar som finns uppbyggda ofta inte är anpassade för att öva den taktik som skärsläckaren är en del av. Utbildningsanordningarna är ofta uppförda med syftet att kunna öva invändig släckning och livräddning i rökfylld miljö enligt traditionell metodik i form av rökdykning. Men anordningarna kan inte erbjuda erforderliga förutsättningar när man vill öva och visa skärsläckarens kylande förmåga speciellt i en byggnad med större volym och därför är det en utmaning inför framtiden att anpassa utformningen av övningsanläggningar så att dessa kan användas effektivt för att utbilda och öva hela skärsläckarkonceptet med skärsläckare, IR-teknik och övertrycksventilering.

En annan slutsats som kan dras efter genomgången av rapporterna är att det fordras en mer utvecklad erfarenhetsrapportering från insatserna. I princip saknas för närvarande alltid en analys av den använda metodens lämplighet, effektivitet, m.m. Skall kommunal räddningstjänst kunna utvecklas, är det ett måste att nya metoder och teknik utvärderas på ett mer systematiskt sätt så att större möjligheter för lärande av de olyckor som inträffat och bättre förutsättningar för erfarenhetsutbyte skapas, inte minst om skärsläckarkonceptets praktiska tillämpning.

Litteratur

P. Andersson, *Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards*, Thesis 1997, Lund University, Department of Fire Safety Engineering

Lars-Göran Bengtsson, *Inomhusbrand, 2001*, SRV Publikationsnummer U30-611

Johannes Bjerregaard och Daniel Olsson, *Skärsläckaren – experimentella försök och beräkningar*, LTH Brandteknik <http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/5221.PDF>

Magnus Bobert och Magnus Arvidson, *Släckförsök med skärsläckare i ett 500 m³ försöksrum*, Rapport P202346, SP Brandteknik 2002.

Tomas Carlsén och Henrik Winkler, *Skärsläckaren som röjningsoch släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*, LTH Brandteknik, <http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/pbr-5069.pdf>

L. Y. Cooper, *The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment*, Int. J. Heat and Mass Transfer, 38(4), pp 679-690, 1995

J.M Coulson and J.F. Richardson, *Chemical Engineering Vol 1*, (3rd Edn), Pergamon Press, 1977

L-S. Fan and C. Zhu, *Principles of Gas-Solid Flows*, Cambridge University Press, 1998

Ronny Fallberg, Krister Palmkvist, Ulf Edholm och Haukur Ingason, *Övertrycksventilation kombinerad med skärsläckare*, SRV rapport, 2004 (Utkast)

Ola Folkesson och Melissa Millbourn, *Släcksystem för lätta räddningsfordon*, LTH Brandteknik, <http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/5261.pdf>

Annevi Fredäng och Joakim Hermansson, *Pilotskydd vid brand - utredning och utveckling*, LTH Brandteknik <http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/pbr-5047.pdf>

G. Grant, J. Brenton and D. Drysdale, *Fire suppression by water sprays*, Progress in Energy and Combustion Science, 26, pp 79-130, 2000

T. Hertzberg et al., *Vattendimma: Teori, fysik, simulering*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2004:15

Göran Holmstedt, *An assessment of the cutting extinguisher advantage and limitations*, LTH Brandteknik, 1999

M. Kulmala, T. Vesala, J. Schwarz and J. Smolík, *Mass transfer from a drop-!, Theoretical analysis of temperature dependent mass flux correlation*, Int. J. Heat Mass Transfer, 38(9), pp 1705-1708, 1995

Mattias Larsson och Johan Westerlund, *Högtrycksbrandsläckning – ett underlag för räddningstjänsten*, LTH Brandteknik, http://130.235.7.155/publikationsdb/docs/pbr-5184_2.pdf

Lars Lundgren, *Håltagning för brandgasventilation i tak*, Examensarbete 2008:03 Luleås Tekniska Universitet, <http://epubl.ltu.se/1402-1552/2008/033/LTU-DUPP-08033-SE.pdf>

J.R. Mawhinney, B.Z. Dlugogorskii and A.K. Kim, *A closer look at the fire extinguishing properties of water mist*, Fire Safety Science-Proceed. 4th Int. Symp. pp 47-60, 1994

S. Sardqvist, *Vatten och andra släckmedel*, Karlstad: Räddningsverket, 2002

J. Schwarz and J. Smolík, *Mass transfer from a drop-!. Experimental study and comparison with existing correlations*, Int. J. Heat Mass Transfer, 37(14), pp 2139-2143, 1994

R. Siegel and J.R. Howell, *Thermal Radiation Heat Transfer*, Taylor & Francis Ltd., London 1992

S. Särndqvist and G.Holmstedt, *Water for manual Fire Suppression*, J. of Fire Protection Eng. 11, 209-231, 2001

H. Tuovinen, *Brandsektionering Genom Vattenbegjutning*, SP Rapport 1987:30

N.B. Vargaftik, *Tables on the Thermophysical Properties of Liquids and Gases*, (2nd Edn), Hemisphere, Washington DC, 1975

T. Vesala and M. Kulmala, *Comparisons of uncoupled, film theoretical and exact solutions for binary droplet evaporation and condensation*, Physica A 192 pp 107-123, 1993

C. A. Wade, *Branzfire Technical Reference guide*, Study Report no 92.

W. Yang, T. Parker, H.D. Ladouceur and J.K. Kee, *The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression*, Fire Safety Journal, 39, 41-66, 2004

Skärsläckaren - tillkomst och utveckling, SRV rapport, ISBN 91-7253-075-8, 2000

Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018-5

Bilaga 1

FIREFIGHT II The New Age of Firefighting
Extinguishing a fire inside a building within 60 seconds
Tests at Guttasjön International Competence Centre Borås 22nd September 2009

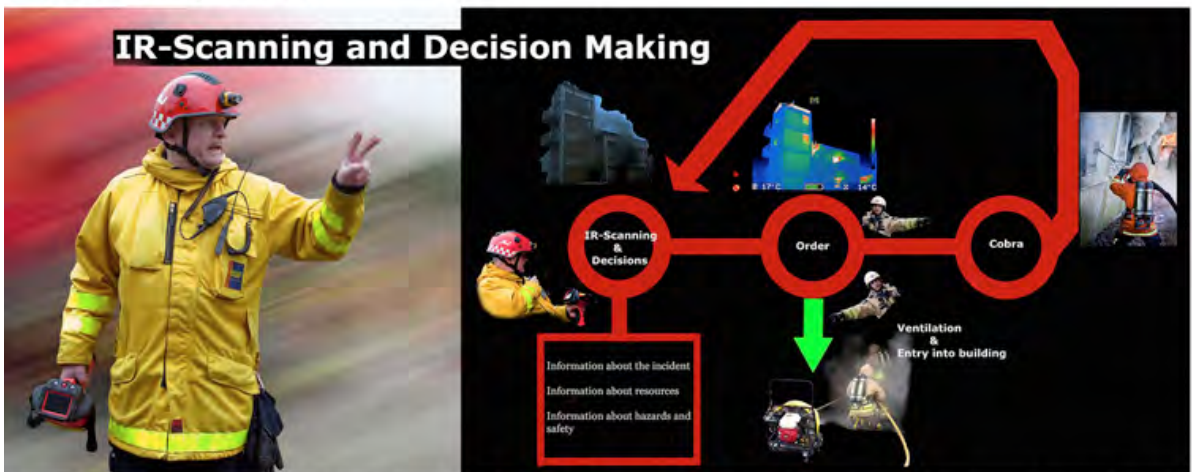


FIREFIGHT II The New Age of Firefighting



Tests at the Guttasjön International Competence Centre Borås 22nd October 2009

Photo: Bo Nystrand



The seconds indicated in the following PPP slides are in accordance with the time logg of the camera used – EOS 1Ds MARK II

Weather conditions: cloudy and +3 °C



Comment:

The 300 bar water pressure will, when the valve to the nozzle in the lance is opened, make the speed of the jet of water into the building extremely high



Comment:

The water splits on entry into a very fine water fog in which each drop of water moves with high speed (kinetic energy). The drops of water have a considerable surface, which is exposed to the hot fire gases, and are thereby easily vaporized into steam



Comment:

The flow of water through the COBRA is about 50 liters per minute and 8.33 liters in 10 seconds. Due to the high temperature of the fire gases all the water will be vaporized after 10 seconds, one liter of water becoming about 1 700 liters of steam. The total volume of steam after 10 seconds will be about 14 160 liters (14.2 cu.m.). The mixture of fire gas and air turns into an inert or noble gas i.e. the content of oxygen decreases in relation to the concentration of flammable gases which then cannot burn (the flames are suffocated). The same phenomena occurs in a car when there is too much petrol in the carburettor.



Comment:

The fire gases continue to be inert and the inflow of water also continues to be vaporized into steam. The flames in consequence do not radiate heat and do not create more gas from combustible material in the room. The black smoke is replaced by a white steam cloud.

The fire gases are being cooled by the vaporized water and the surrounding lower temperature. After the first 14 seconds of the test, the temperature has a decrease 228 °C, from 628 to 400 °C. The amount of energy coming from the hot fire gases needed to vaporize 8.33 liters of water is 26 440 kJ.



Comment:

The process continuous in the same manner and the temperature continues to decrease.



Comment:

After 31 seconds of the test, the temperature has decreased from 628 to 225 °C, in all 403°C. The total amount of water used so far is 25.83 liters creating a total volume of steam of 43 900 liters (43.9 cu.m.), the energy needed for heating coming from the hot fire gases. The amount of energy from the hot firegases is 58 375.8 kJ.



Comment:

After 43 seconds of the test, the temperature has decreased from 628 to 82 °C under the ceiling as a result of the cooling of the fire gases. The vaporizing of water has now ceased due to the temperature being < 100 °C, injecting additional water would only cause unnecessary damage.

The COBRA limits such damage very significantly in comparison with conventional firefighting means as it only uses 50 liters per minute and the total amount of water used in this test was only 35.83 liters, which created a total volume of steam of 60 900 liters (60.9 cu.m.). The energy (80.975.8 kJ) needed for heating came from the hot fire gases.



Conclusion:

The test indicates clearly that the Cutting Extinguishing Concept (CEC) can fulfill the Strategic Goals for FIREFIGHT II when implemented by appropriately educated and trained firefighting personnel

Strategic Goals for FIREFIGHT II

- accept only a safe working environment for firefighters
- limit secondary damage to property from water and smoke
- minimize environmental consequences of firefighting

Bilaga 2



Summary in English

Södra Älvsborg Fire & Rescue Service (SERF) www.serf.se has conducted, in collaboration with the SP Technical Research Institute of Sweden www.sp.se, scientific studies on the basis of reported and documented experiences from almost ten years' practical implementation of the of the Cutting Extinguishing Concept (CEC) or methodology in firefighting operations. SERF was commissioned by the Swedish Rescue Services Agency (SRSA), since 1 January 2009 the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) www.msb.se, to carry out these studies.

To fight fires inside burning buildings is from a workers health and safety perspective an occupation with a very high level of risk and there are therefore requirements for the substitution of conventional methods for fighting fires with new methods, which provide a good working environment for the responders. In consequence, SRSA initiated in 1996 research and development which resulted in the cutting extinguishing tool COBRA and lead to a completely new methodology for fighting fires.

The concept or system, which was developed for this methodology, consists of means for detection and scanning with infra red technology, information and decision support combined with the COBRA cutting and extinguishing technical equipment for precision firefighting as well as high-pressure ventilation created by a high-pressure fan to optimise the efficiency of the COBRA. The COBRA is ready for use immediately on arrival on site. The concept is integrated into normal fire-engine trucks with 1 + 4 firemen but is also a part of the lighter quick response unit with two firemen developed by SRSA, the First Response Unit.

In 2008 there were about 120 COBRAs in operation in Sweden, whereof about 25 in First Response Units and the others in conventional fire-engines. In all, there are now 450 COBRAs in operational use in more than 30 countries around the world. These are

installed in different types of vehicles, normal standard fire engines, heavy airport vehicles and light vans as well as in different types of ships.

On the basis of the reports from the dispatched response actions in which the COBRA was used in Sweden (675 operations during the period 2004 – 2008), the experiences have been compiled and distributed under different types of response actions. The results indicate that the distribution is equivalent to what is normal for fire response actions. The conducted scientific studies of the reported experiences underline the importance of the COBRA's cutting capacity for quickly getting access to the burning compartment or side rooms and taking response action. The studies indicate that the COBRA is chosen in order to avoid the risk for ignition of the accumulated fire gases and enable the fire to be attacked directly through the building's construction and achieve a quick influence on the development of the fire.

The COBRA will mainly exercise influence on the fire by a combination of cooling and inerting, i.e. the mixture of fire gas and air will become overcarbonized and turn into an inert or noble gas as a result of the inflow of water, which is vaporized into steam. The content of oxygen will then decrease in relation to the concentration of flammable gases, which then cannot burn (the flames are suffocated).

In the report of the studies, the conclusions concerning the Cutting Extinguishing Concept are summarized as follows:

- the COBRA cools efficiently the fire gases and stops the fire from developing as well as inerts the fire gases even when their temperature is low
- high-pressure ventilation is facilitated due to the capability of the COBRA to control the fire gases before the ventilation is started
- the COBRA enables a quicker start of the action against a fire and the fire gases during an intervention
- the COBRA provides more methods for extinguishing fires which are generally considered difficult to handle and for getting access to, for instance, fires in double flooring, roofs and attics
- the tactical choices have increased when different methodologies are combined i.e. IR technology, the COBRA and high-pressure ventilation as well as secure and safe indoor firefighting
- high quality education and training will increase the implementation, improve the efficiency and enhance the credibility in general of advantages of the Cutting Extinguishing Concept
- damage to property as well as the negative consequences for the environment caused by conventional firefighting using large quantities of water decrease considerably and often completely with the COBRA
- the COBRA improves the working environment for firemen when extinguishing fires in buildings from the outside
- the COBRA methodology has increased the health and safety of firemen when responding to fires inside buildings

The report presents how SERF works with the Cutting Extinguishing Concept and this concept in combination with other methods and technology. Also studies and research concerning the capacity of water and vaporized water drops into steam to extinguish fires as well as an overview of the experiments which have been conducted with the

COBRA and their results are presented in the report. Four different cases of fire interventions conducted by SERF in which the CECs have been implemented are presented extensively. Finally, proposals are made for future work and further development of the COBRA.

The COBRA is used actively for fire interventions in different parts of Sweden, but there is a clear need for improved knowledge about how the actions for the extinction of fires should be conducted and what the effects of different types of interventions really are. Improved knowledge would enhance and facilitate the exchange of experience and learning lessons within the fire and rescue services and speed up the introduction of the new methodology and technology in the whole of Sweden.

An education and training encompassing the whole Cutting Extinguishing Concept has been established in Sweden and forms part of the basic training of firemen, part time firemen and intervention leaders. As a result of the EU Project FIREFIGHT, within the framework of the Leonardo da Vinci Programme, an e-learning package which can be used by a pupil at home, supplemented by a short practical training for firemen, was elaborated. The Partners in FIREFIGHT included fire training facilities in England, France, Spain and the Czech Republic and SRSA was the coordinator.

Work now continues in the EU Project FIREFIGHT II (www.eufirefight.com), within the framework of the Lifelong Learning Programme of the Leonardo da Vinci Programme, with training for intervention commanders and fire and rescue chiefs as the target group. The objective is to develop Vocational Education and Training on strategy and tactics related to the CEC for the target group. Besides the original Partners, fire training facilities in Estonia, Finland and the international (SME) EducExpert France and SERF have joined as Partners in FIREFIGHT II. MSB is the Coordinator, with Bo Andersson as the Project Leader.

The study proposes that the training facilities are adapted so that these can be used more efficiently for the training of the complete CEC, i.e. IR technology, the COBRA and high-pressure ventilation. The present training establishments and their equipment for conducting fire extinguishing training are not very well suited for exercising the tactics that are needed for the CEC, for instance in respect to the cooling and inerting of the mixture of fire gas and air, in particular in a compartment with a considerable volume.

Another conclusion is that the intervention reports clearly demonstrate a need for an improved and developed methodology for learning from the experiences of the response operations. The reports at present rarely contain an analysis of the appropriateness, efficiency, etc. of the implemented methodology. There is on the other hand a clear need to evaluate systematically the experiences of new methodology and technology to allow for learning from the incidents that occur and create better conditions for exchange of experience, not in the least of the practical operational use of the Cutting Extinguishing Concept.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB 0167-10 ISBN 978-91-7383-078-2