

Skärsläckaren

– experimentella försök och beräkningar

Johannes Bjerregaard
Daniel Olsson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5221, Lund 2007

Skärsläckaren

– experimentella försök och beräkningar



Johannes Bjerregaard & Daniel Olsson

Lund 2007

Skärsläckaren – experimentella försök och beräkningar

The cutting extinguisher – experiments and calculations

Johannes Bjerregaard & Daniel Olsson

Report 5221

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB – 5221 – SE

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

Number of pages: 52

Illustrations: Johannes Bjerregaard & Daniel Olsson

Keywords

Cutting extinguisher, fire-fighting, high pressure, water mist

Sökord

Skärsläckare, brandbekämpning, högtryck, vattendimma

Abstract

During the last decade the cutting extinguisher has been used as a complement to more traditional fire fighting tools in the Swedish rescue service. In earlier research regarding the cutting extinguisher, the tools ability to penetrate different building materials and the transition of the water jet into a water spray inside the enclosure have been given little attention. This report aims to illustrate how different elements of construction affect the performance of the cutting extinguisher in terms of: penetration time, brake-up of the water jet and extinction characteristics. The report is based on an empirical study including 21 tests on different elements of construction. The results show that the penetration time varies considerably, from a few seconds to several minutes, for commonly used building materials. Furthermore the brake-up of the water jet appeared at approximately 5 metres from the nozzle in all tests, suggesting that the penetrated construction does not affect the transition of the water jet into a water spray. Calculations indicate that the water content in the spray is, at the most, 50 % of that theoretically needed for extinction of diffusion flames through gaseous interaction. This suggests that formation and confinement of water vapour might be of importance for flame extinction. Which gives reason to suspect that the cutting extinguisher may be limited in terms of flame extinction in well-ventilated constructions, if the fuel surface is not targeted directly.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2007.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Sammanfattning

Skärsläckaren har under senaste åren kommit att bli ett komplement till konventionella lågtryckssystem. Verktöget har utvecklats i syfte att användas för brandbekämpning där ett högt vattentryck och en liten munstycksarea åstadkommer en vattenspray som har en kylande effekt på brandgaserna. Det unika med skärsläckaren är att verktöget kan penetrera olika typer av konstruktionsmaterial och skapa förutsättningar för en utvändigt släckinsats.

Tidigare forskning inom området har ägnat ganska liten uppmärksamhet åt hur effektivt verktöget penetrerar olika typer av byggnadselement, samt hur vattenstrålen bryter upp efter genomslag av konstruktionen. Rapporten syftar till att belysa skärsläckarens kvalitéer vad avser släckeffekt och penetreringsförmåga, samt redogöra för vattensprayens struktur och egenskaper efter penetrering genom olika konstruktionsmaterial. Studien bygger på en empirisk undersökning där totalt 21 försök har utförts. Försöken visar på att skärsläckaren snabbt penetrerar vanligt förekommande byggnadselement som industriväggar, dörr-/fönsterkarmar, samt fasadväggar och bostadsbjälklag av trä. Försök utförda på betong- och lättklinkerelement visar dock på betydligt längre penetrationstider.

Samtliga försök visade på att vattenstrålen först är väl sammanhållen för samtliga försöksserier, för att sedan ca 5 meter från munstycket bryta upp till en vattenspray. Det finns då inte längre någon kärna av vatten i strålens centrum, utan vattendropparna är relativt jämnt fördelade över strålens tvärsnitt. Hastigheten i vattensprayen ligger i storleksordningen 5-10 (m/s) efter strålens uppbrott.

Beräknat vatteninnehåll i sprayen uppgår till maximalt 50 % av den vattenmängd som krävs för att släcka diffusionsflammar genom gasfasverkan. Tidigare utförda studier visar dock på att skärsläckaren har en god släckverkan mot bränder i inneslutna utrymmen. Det är svårt att förklara varför denna goda släckverkan erhålls, de beräkningar som utförts talar dock för att graden av ventilation i brandrummet och förångningen av släckvattnet är av stor betydelse för skärsläckarens gasfasverkan mot flammor. Mycket tyder på att skärsläckarens släckegenskaper vid gasfasverkan är begränsad i mycket välventilerade utrymmen och vid situationer där släckvattnet inte förångas.

Förord

Detta projektarbete har utförts på uppdrag av Räddningsverkets skola vid Rosersberg i samarbete med Lunds tekniska högskola, avdelningen för brandteknik. Arbetet ingick som ett sista examinationsmoment i utbildningen till brandingenjör vid Lunds tekniska högskola.

Rapporten fokuserar på att belysa skärsläckarens kvalitéer vad avser släckeffekt och håltagningsförmåga, samt redogöra för vattensprayens struktur och egenskaper efter penetrering genom olika konstruktionsmaterial. Under resans gång har författarna mött ett flertal personer som med stor öppenhet har delat med sig av sina erfarenheter, eller på annat sätt bistått med information och kunskap till studien.

Ett stort tack riktas till berörd personal vid Räddningsverkets skola i Rosersberg som gjort det möjligt för oss att praktiskt genomföra denna studie. Tack till alla personer inom Räddningstjänsten för den kunskap och information som ni bistått med inom vårt ämnesområde. Vi väl även framhålla ett tack till Lars Lundmark och Anders Johansson vid CCS i Kungsbacka. Tack Anders för ditt stora engagemang vid genomförandet av de experimentella försöken!

Vi vill även tacka Stefan Särdaqvist och Stefan Svensson vid Räddningsverkets skola i Revinge, samt Krister Palmkvist vid Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund för alla givande diskussioner angående skärsläckaren och dess tillämpningsområden.

Slutligen vill vi tacka våra handledare brandingenjör Daniel Edwartz vid Räddningsverkets skola i Rosersberg, samt professor Göran Holmstedt vid Lunds tekniska högskola. Göran och Daniel har inspirerat oss i arbetet och ständigt fungerat som ett bollplank, samt på ett tålmodigt och kritiskt sätt granskat vårt manus.

Lund, maj 2007

Johannes Bjerregaard & Daniel Olsson

Innehåll

<i>Sammanfattning</i>	<i>I</i>
<i>Förord</i>	<i>III</i>
<i>Innehåll</i>	<i>V</i>
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problemdiskussion	2
1.3 Syfte	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Målgrupp	4
1.6 Disposition och läsanvisning	4
2. Metod och vetenskapssyn	7
2.1 Angreppssätt	7
2.2 Metod för datainsamling	8
2.3 Urvalsprincip för försöksprover	8
2.4 Analys av data	9
2.5 Studiens tillförlitlighet	9
2.6 Forskningsprocessen	11
3. Teoretisk referensram	13
3.1 Skärsläckarens funktion	13
3.2 Skärsläckarens egenskaper och tillämpningsområden	14
3.2.1 Ejektorverkan	15
3.2.2 Tillämpningsområden	15
3.3 Vattenstrålens uppbrott	16
3.4 Vattendimma	17
3.4.1 Vattendimma som släckmedel vid gasfasverkan	18
3.4.2 Vatten som släckmedel vid ytverkan	19
4. Empirisk undersökning	21
4.1 Försökupställning	21
4.2 Tid till penetrering av provkropp	25
4.3 Vattenstrålens uppbrott	27
4.4 Vattenhastighet i sprayen	31
4.5 Tvärsnittsarea för vattenspray efter uppbrott	35
4.6 Beräknade egenskaper för vattenspray efter uppbrott	36

5. Analys	39
5.1 Tid till penetrering av provkropp	39
5.2 Vattenstrålens uppbrott	40
5.3 Släckning genom gasfasverkan – horisontell användning	41
5.4 Släckning genom ytverkan – vertikal användning	44
5.5 Brandgaskylning	45
 6. Slutsatser	 47
6.1 Tid till penetrering av provkropp	47
6.2 Vattenstrålens uppbrott	47
6.3 Släckverkan	47
6.4 Tillförlitlighet för beräknade värden	49
6.5 Förslag till fortsatt forskning	49
 Referenser	 51
 Bilaga A – Provkroppar	 A 1 – A 4
 Bilaga B – Nomenklatur	 B 1
 Bilaga C – Beräkningar	 C 1 – C 9

1. Inledning

Kapitlet inleds med att ge en bakgrund till uppsatsens ämnesområde och problemformulering. Därefter redovisas studiens syfte, forskningsfrågor samt avgränsningar. Avslutningsvis sker en redogörelse för uppsatsens disposition.

1.1 Bakgrund

Såväl inom forskningen som i den mer praktiskt orienterade debatten har det förespråkats om vikten att finna nya släckmetoder som bidrar till effektivare släckinsatser. Kunskapsutvecklingen inom området brandsläckning är just nu mycket intensiv. Nya metoder för släckning har utvecklats och nya system har kommit ut på marknaden som ett komplement till konventionella släcksystem.

Att bekämpa bränder med högtryckssystem, d.v.s. system som arbetar med ett pumptryck över 20 bar, har på senare år kommit att bli allt vanligare vid de svenska räddningstjänsterna (Larsson & Westerlund, 2006). Högtrycksbrandsläckning fanns och användes i Sverige fram till 1960-talet, då tekniken upphörde bl.a. beroende på tekniska problem som t.ex. låg driftsäkerhet hos pumpar. Driftsäkrare system och nya släckmetoder har dock medfört att högtryckstekniken åter har blivit intressant som ett alternativt släcksystem.

I Norden kom släcktekniken att användas redan år 1945 av Islands brandförsvär. Vid krigsslutet efterlämnade de amerikanska styrkorna två stycken brandbilar med högtryckssystem på Reykjaviks flygplats, främst avsedda för insatser mot flygplatsbränder. Brandförsvärets brist på utrustning medförde dock att högtryckssystemen även nyttjades med goda släckresultat vid insatser i byggnader (Lundström & Svensson, 1997).

Högtrycksbrandsläckning kan betraktas som en nygamal teknik som bygger på att det höga munstyckstrycket skapar mindre vattendroppar som bidrar till en ökad kylförmåga och därmed en bättre släckeffekt. I Sverige påbörjades forskning kring vattendroppars släckverkan redan på 40-talet. Brandingenjör Kaare Brandsjö var den första i Sverige att ägna sig åt brandteknisk försöksverksamhet vad avser släckmetoder. År 1942 utförde Brandsjö vetenskapliga brandtester på vattenstrålens släckeffekt. Resultaten visade på att vattenstrålar med högre tryck gav en effektivare släckning och mindre vattenåtgång än strålar med lägre tryck. Resultatet av forskningen kom att visa sig bli banbrytande (Stålbrand, 2006).

Bland landets räddningstjänster har skärsläckaren kommit att bli ett komplement till konventionella lågtryckssystem. Skärsläckaren är ett verktyg som bygger på högtrycksteknik och arbetar med ett pumptryck på 250-300 bar. Verktöget utvecklades till början i syfte att ta fram en ny metod för håltagning. Räddningstjänsten i Luleå

ansåg att det förelåg ett behov att ta fram en ny metod för att riva väggar samt utföra håltagningar i takkonstruktioner för brandgasventilering (Räddningsverket, 2000). Att skära i material med hjälp av vatten är en teknik som har använts länge inom tillverkningsindustrin. Genom att låta vatten och skärmedel (abrasiv) under högt tryck passera genom ett munstycke med en liten area, kan ett skärverktyg åstadkommas som ger rena skärytor och små materialförluster (Persson, 2003). Med hjälp av skärtekniken utvecklade företaget Cold Cut Systems (CCS) i Kungsbacka, på uppdrag av Räddningsverket, en håltagningsutrustning för applicering på räddningstjänstens höjdfordon. I juni 1997 genomfördes de första fullskaleförsöken som visade att verktyget inte bara skar igenom olika material utan samtidigt även hade mycket goda släckegenskaper (Räddningsverket, 2000).

1.2 Problemdiskussion

Skärsläckaren beskrivs oftast som ett verktyg som snabbt kan skära igenom olika typer av material och för att på så sätt nå brandhärden i t.ex. dolda utrymmen och kyla de varma brandgaserna med hjälp av vattendimma. I Sverige har man under en längre period varit inriktad på en offensiv släcktaktik, där rökdykare sätts in för att bekämpa branden och utföra livräddning. Skärsläckaren skapade en möjlighet till att påverka branden utifrån och på så sätt utgöra ett komplement för att förbättra miljön för en rökdykarinsats, samt att i vissa fall helt frångå insatser med invändig släckning.

Sedan verktyget lanserades har det förts en livlig debatt om skärsläckarens för- respektive nackdelar. Skärsläckaren anses ha en unik förmåga att penetrera ett material och därefter ha kylande verkan på brandgaserna (Ivansson, 2003). Verktyget påstås skära igenom så gott som samtliga på marknaden förekommande material, där ett av huvudargumenten till att nyttja metoden är att tjäna tid vid ett brandtillbud. Små enheter eller även kallade framskjutna enheter kan begränsa eller fördröja ett brandförlopp innan huvudstyrkan kommer till platsen (Dahlén, 2002; Stålbrand, 2005, Dahlén, 2006). I dag saknas dock dokumenterade försök på hur pass snabbt och effektivt verktyget punkterar vanligt förekommande byggnadselement (t.ex. tak-, vägg- och bjälklagskonstruktioner) samt om det finns begränsningar på skärförmåga i sammansatt material där även luftspalter förekommer.

Fullskaleförsök utförda med skärsläckaren visar att verktyget med god effekt sänker temperaturen i brandrummet, oavsett var vattnet påförs. I flertalet av försöken har rumsgeometrin varit sådan att vattenstrålen tillåts bryta upp fullt ut innan den har nått motstående väggar eller andra hinder i brandrummet (Räddningsverket, 2000; Bobert, 2002; Ingason et al., 2004). Det finns flera kritiker som hävdar att släckeffekten helt kan utebli om vattenstrålen inte tillåts brytas upp och förångas innan den träffar ett föremål (Dahlén, 2002; Ivansson, 2003). Detta påstående styrks av försök utförda vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, där skärsläckarförsök utfördes i syfte att studera hur släckverkan påverkades när vattenstrålen träffas av ett hinder 2 meter in i brandrummet

(Bobert, 2002). Frågan om släckeffektens beroende av att vattenstrålen hinner bryta upp innan den träffar ett hinder ställs givetvis till spets då skärsläckaren används vertikalt, t.ex. vid insatser mot vinds- och källarbränder där vattnet påförts vertikalt mot brandrummet med begränsad rumshöjd. Enligt tidigare utförda studier har det påvisats att vattenstrålen är relativt sammanhållen upp till ca 4-5 meter (Räddningsverket, 2000).

När strålens uppbrott och uppbrottets betydelse för släckeffekten diskuteras bortses det ofta ifrån det uppenbara hindret i vattenstrålens väg, nämligen den konstruktionsdel som först penetreras (t.ex. ett bjälklag eller ett vägg-/takelement). I de försök som har genomförts i syfte att studera släckverkan har insatsen skett genom befintliga ventilationsöppningar, öppna fönster/dörrar eller genom mindre öppningar som konstruerats på förhand. Vidare finns det i den litteraturstudie som utförts inga försök som belyser hur/eller om uppbrottet är beroende av att vattenstrålen penetrerar en konstruktion innan den når brandrummet, samt vilken betydelse konstruktionens dimension och/eller materialegenskaper har.

1.3 Syfte

Studien syftar till att belysa skärsläckarens kvalitéer vad avser släckeffekt och penetreringsförmåga, samt redogöra för vattensprayens struktur och egenskaper efter penetrering genom olika konstruktionsmaterial. Primärt avser studien bidra med kunskap kring följande frågeställningar:

- *Hur snabbt penetrerar skärsläckaren olika typer av byggnadselement?*
- *På vilka avstånd från munstycket sker vattenstrålens uppbrott vid penetrering av olika typer av byggnadselement?*
- *Vilken struktur och hastighet har vattenssprayen vid vattenstrålens uppbrott?*
- *Vilken släckeffekt kan skärsläckaren förväntas uppnå?*

1.4 Avgränsningar

Samtliga försök kommer att ges samma förutsättningar vad avser tryck, flöden, munstycksdiameter och skärmedel. Rapporten avser ej att skildra hur resultaten påverkas av variation av dessa parametrar.

Studien kommer inte att behandla huruvida en brand kan komma att påverka resultaten, då de experimentella försöken ej kommer att genomföras och studeras i brandrummet. Vidare kommer ingen hänsyn tas till bidrag som olika ventilationsförhållanden kan ge upphov till.

Vid beräkningar av skärsläckarens släckegenskaper kommer resultaten att baseras på teoretiska beräkningar med indata erhållen från de empiriska försöken. Avsikten med försöken är att de ska ge underlag för bedömning av vattensprayens hastighet och struktur samt information om vattenstrålens uppbrott och penetrationsförmåga. Studien avser ej att redogöra för andra faktorer som vattendropparnas storlek, struktur och sammanhållning i vattendimman. Vidare kommer studien av vattensprayens struktur genomföras i två dimensioner, med antagandet att vattenstrålen är rotationssymmetrisk.

Urvalet av försöksprover avgränsas till att omfatta vanligt förekommande byggnadselement som kan komma i fråga att penetreras vid en insats med skärsläckare. Försöken har även avgränsats till att omfatta samma materialdimension och uppbyggnad för respektive provkropp. I de ingående försöksproverna har inga parametrar som materialtjocklekar och sammansättning av material varierats.

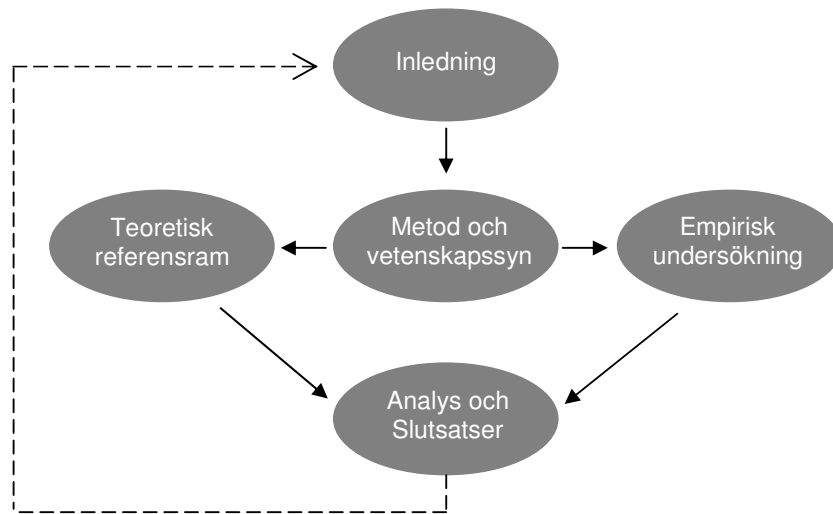
1.5 Målgrupp

Rapportens primära målgrupp är räddningstjänster och industribrandkärer som i dag och/eller i framtiden kommer att använda skärsläckaren som verktyg i sin verksamhet för brandbekämpning. Vidare riktar sig studien till Räddningsverkets skolor för att primärt användas som underlag i utbildningssyfte.

1.6 Disposition och läsanvisning

Kapitel 1, *Inledning*, ger en bakgrund till den efterföljande problemdiskussionen. Dessutom preciseras uppsatsens syfte, avgränsningar och forskningsfrågor i detta kapitel. I kapitel 2, *Vetenskapssyn och metod*, sker en redogörelse för den vetenskapssyn och metod som studien stödjer sig på. Den teoretiska referensramen som ligger till grund för studien presenteras i kapitel 3, *Teoretisk referensram*. Det empiriska materialet som baseras på experimentella försök presenteras i kapitel 4, *Empirisk undersökning*. I uppsatsen avslutande kapitel 5 och 6, *Analys och Slutsatser*, sker en återkoppling till studiens syfte och till de forskningsfrågor som ställdes i inledningen. Avslutningsvis ges förslag till fortsatt forskning.

En schematisk modell över rapportens disposition åskådliggörs i figur 1. Modellen belyser hur uppsatsen olika delar är kopplade till varandra.



Figur 1. Schematisk modell över rapportens disposition. Källa: Egen

2. Metod och vetenskapssyn

Kapitlet redogör för de angreppssätt med vilket problemområdet har närmats och den vetenskapssyn som ligger till grund för studien. Vidare beskrivs tillvägagångssättet vid undersökningen samt vilka metodproblem som kan påverka studiens resultat.

2.1 Angreppssätt

Intresset för skärsläckaren och dess utveckling inom räddningstjänstområdet väcktes i samband med en tiopoängskurs, *Aktiva system*, som författarna läste under hösten 2005. Kursen ges av avdelningen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola. Efter kontakt med Räddningsverkets skola i Rosersberg våren 2006, initierades idén till projektarbetet och en projektbeskrivning utarbetades.

Forskningsprocessen inleddes med att studera vad som framkommit vid tidigare forskning inom området högtryckssystem och skärsläckning. Resultatet visade på att det fanns begränsat med utgivet material vad beträffar studier på skärsläckarens tillämpnings- och utvecklingsområden. De försök som tidigare har utförts med skärsläckaren har främst varit inriktade på att studera verktygets släckande egenskaper i brandrummet, där släckresultaten baserades på tid- och temperaturkurvor. En temperatur på ca 200 °C definierades oftast som släckkriteriet (Ingason et al., 2004; Räddningsverket, 2006; Bobert, 2002). Försök med olika former av tillsatsmedel i släckvattnet, samt skärsläckaren i kombination med övertrycksventilering har bl.a. studerats av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut tillsammans med Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund (Ingason et al., 2004). Vad avser skärsläckarens skärförmåga i olika typer av material finns dokumenterade skärförsök på sandwichkonstruktioner av kompositmaterial för svenska kustkorvetter (Carlsén & Winkler, 2000) och flyplansplåtar för JAS 37 Viggen (Fredäng & Hermansson, 1999).

För att finna intressanta och viktiga infallsvinklar till forskningsfrågor genomfördes intervjuer med personer med bred kunskap (professorer, forskare och brandbefäl) inom områdena släckteknik och släckmedel. Vidare utarbetades ett antal frågeställningar vilka behandlade skärsläckning som skickades till landets räddningstjänster, med syfte att ge svar på de områden som räddningstjänsten ansåg som intressanta och relevanta att studera vad avser skärsläckaren och dess tillämpningsområden. Forskningsfrågorna valdes sedan till grund för att bidra med kunskap till de områden som tidigare inte har studerats i nämnvärd omfattning.

Mot bakgrund till att forskningsområdet är relativt outforskat och där syftet var att skapa en ökad förståelse för problemområdet, baserades studien på ett kvantitativt respektive kvalitativt angreppssätt. Den kvalitativa orienterande forskningsmetoden har främst nyttjats i studiens inledande fas för att skapa en ökad förståelse för forskningsfrågorna.

Den kvantitativa metoden fick utgöra grund för den empiriska undersökningen, vars primära syfte var att undersöka och redogöra för studiens problemformuleringar. Utmärkande för kvantitativa forskningsmetoder är bl.a. att utprova, undersöka och förklara enskilda metoders, komponenters eller materials funktion genom kontrollerade experiment (Ejvegård, 2003; Thurén, 1993; Holme & Solvang, 1997).

2.2 Metod för datainsamling

Som utgångspunkt för valet av datainsamling, studerades litteratur där datainsamlingsmetoder diskuterades (Backman, 1998; Holme & Solvang, 1997; Patel & Davidson, 1994). För att erhålla en ökad förståelse för problemområdet inhämtades bakgrundsmaterial genom en s.k. skrivbordsundersökning. De sekundärdata som har använts är litteratur, artiklar samt rapporter från tidigare forskning och utredningar inom området. Informationsökning har skett vid brandtekniks bibliotek vid Lunds tekniska högskola, samt på biblioteket vid Räddningsverkets skola i Rosersberg. Vid den datorbaserade informationssökning har nationella och internationella databaser nyttjas (ELIN, ArtikelSök, LIBRIS). Även opublicerade rapporter och utredningar inom området har inhämtats från Räddningsverket, Sveriges Forsknings- och Provningsanstalt, samt från räddningstjänster runt om i landet.

Insamling av primärdata till studien har skett genom experimentella försök utförda 2006/10/23, vid Räddningsverkets skola i Rosersberg. Förberedelser för försöken skedde under tidsperioden 2006/10/02 - 2006/10/20, då provkroppar tillverkades och försöksupställningen iscensattes. Vid samtliga försök dokumenterades testerna med hjälp av tre digitala filmkameror, som placerades strategiskt för att fånga upp vattenstrålen och vattensprayens framfart upp till nio meter från provkroppen. På samtliga provkroppar genomfördes två av varandra oberoende försöksserier, dels där skärsläckaren monterades i en provställning samt där försöket genomfördes av en erfaren operatör. För att erhålla tillräckligt med data för studien, samt begränsa antalet mätningar, diskuterades försöksserierna noggrant igenom med handledare innan försökens genomförande.

2.3 Urvalsprincip för försöksprover

Försöksproverna tillverkades i syfte att illustrera vanligt förekommande byggnadskonstruktioner där skärsläckaren nyttjas för att punktera byggnadselementet vid insatser mot t ex vindsbränder, källarbränder, rumsbränder och brand i industribyggnader. Urvalet av försöksprover baseras på studier av ca 150 insatsrapporter där skärsläckaren har tillämpats vid brandbekämpning (Palmkvist, 2006). Undersökningen resulterade i att provkropparna vid försöken fick representeras av följande byggnadskonstruktioner:

- *Fasadvägg av trä*
- *Dörr- och fönsterkarm av trä*
- *Bostadsbjälklag av trä respektive betong*
- *Fasad- och källarvägg i lättklinkerbetong*
- *Skalmur och skalvägg av betong*
- *Industrivägg/industritak med ytskikt av plåt*

2.4 Analys av data

Den kvalitativa analysen har inneburit att samband har sökts, genom att undersöka data på flera olika sätt. Vid analysarbetet användes en sorteringsmatris för att underlätta analysarbetet av material införskaffat från litteratur, rapporter och utredningar. Det är av stor vikt att komprimera erhållen data och enligt Holme & Solvang (1997) ger sorteringsmatrisen en god översikt för analys- och tolkningsprocessen.

Analys av insamlad data från de experimentella försöken skedde genom observationer av filmsekvenser som togs i samband med försöken. Vid analys av penetrering genom de olika försöksproverna, vattenstrålens uppbrott, samt vattensprayens hastighet och struktur nyttjades programvaran Video ReDo Plus (ver.02). Programmet gav möjlighet till att studera 25 bildsekvenser per sekund. Vid försöksuppställningen användes en svart bakgrundstavla med horisontella och vertikala längdaxlar. På den horisontella axeln fanns en markering på var 10:e centimeter. Längdskalan tillsammans programvaran gav förutsättningar till att uppskatta positionen för vattenstrålens uppbrott, samt vattensprayens utbredning och hastighet för de olika försöksserierna. För att underlätta analysarbetet dokumenterades alla resultat från studien i tabeller.

2.5 Studiens tillförlitlighet

Vid genomförande av vetenskapliga undersökningar är det främst två aspekter som skall säkerställas, nämligen studiens *reliabilitet* och *validitet*. Om dessa krav inte säkerställs får forskningsresultatet lågt vetenskapligt värde. Med *reliabilitet* menas ett mätinstrumentets förmåga att ge tillförlitliga och stabila resultat samt hur väl instrumentet motstår slumpinflytande av olika slag. Forskningsmetodens *reliabilitet* grundar sig på antagandet att det finns en enda verklighet som kommer att föranleda samma resultat om man vid upprepande gånger studerar denna verklighet (Holme & Solvang, 1997; Patel & Davidson, 1994).

Studiens *reliabilitet* begränsas till den försöksuppställning som ligger till grund för inhämtandet av empirisk data. För att minimera eventuella fel vid försöken diskuterades försöksuppställningen noggrant igenom med handledare för studien, samt med personer vid CCS i Kungsbäcka, innan försöken genomfördes. Vid försöken monterades försöksproverna mot ett stativ som var stadigt förankrat för att förhindra rörelser på

provkropparna. För att ge en rättvis bild av vattenstrålens struktur monterades ett oanvänt munstycke på skärsläckaren. För att ytterligare stärka reliabiliteten i studien genomfördes två av varandra oberoende försöksserier, dels där skärsläckaren monterades i en väl förankrad provställning samt där försöket genomfördes av en erfaren operatör. Det bör dock beaktas att det finns risk för att skärsläckarens munstycke har hamnat i olika positioner vid respektive försöksserie när försöken genomfördes av operatör.

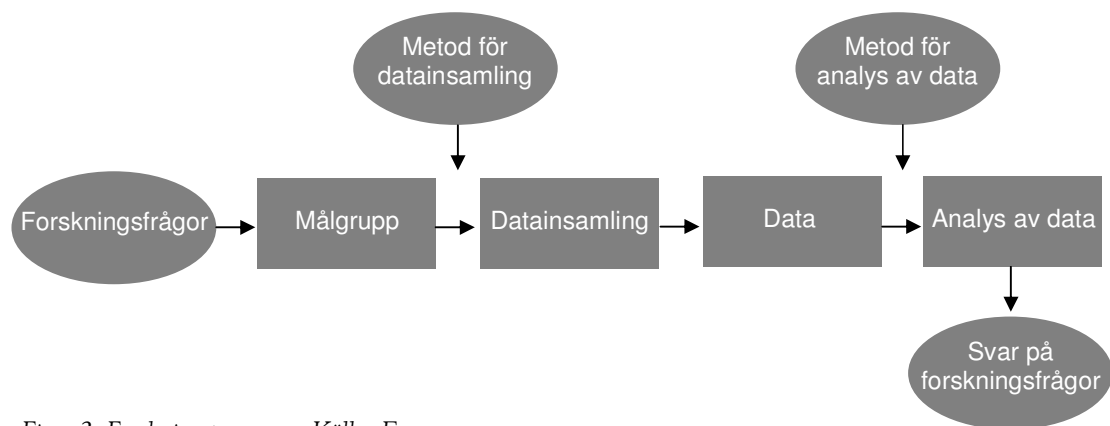
Vid studien har vattendimmans struktur och hastighet analyserats m.h.a. ett bildredigeringsprogram som redovisar en bildsekvens var fyra hundra sekund. Vid analys av data framkom det att det rådde pulseringar och kraftig turbulens i vattendimman, vilket kan ha påverkat studiens mätnoggrannhet. Valet av mätinstrument vid bedömning av vattendimmans hastighet påverkar givetvis undersökningens resultat. Ett mätinstrument som genererar fler bilder per sekund ger ett noggrannare resultat. Ett alternativ till den utrustning som användes vid försöken kan vara att använda teknisk utrustning som höghastighetskamera, för att dokumentera vattensprayens struktur och rörelse.

Validitet definieras som ett mätinstruments förmåga att mäta det som är avsett att mätas. Undersökningens validitet beror i hög grad på om forskaren har valt lämpliga instrument och metoder med avseende på undersökningens syfte (Holme & Solvang, 1997; Patel & Davidson, 1994). Vid undersökningar är det lämpligt att skilja mellan två aspekter på validitet, *intern validitet* och *extern validitet* (Wiederheim-Paul & Eriksson, 1999). Den interna validiteten behandlar huruvida resultaten stämmer överens med verkligheten, medan den externa validiteten omfattar i vilken utsträckning man kan generalisera resultaten från undersökningen.

De resultat som erhållits ur undersökningen har analyserats och tolkats av författarna, vilket har påverkats av de erfarenheter och kunskaper de besitter inom området. För att minimera risker för feltolkningar har diskussioner förts med personer som har en stor kunskap inom området. För att stärka studiens validitet har ett flertal analyser genomförts för respektive provserie för att säkerställa att samma mätresultat uppnås. Totalt genomfördes 21 stycken försök, man bör vara medveten om att man inte kan dra generella slutsatser okritiskt utifrån ett fåtal försök. Vidare bör man beakta att försöken inte har utförts i ett brandrum, vilket gör att det inte går att dra några generella slutsatser om vattenstrålens uppbrott samt vattensprayens struktur och släckande egenskaper i ett brandrum.

2.6 Forskningsprocessen

Vid genomförandet av studien har författarna valt att tillämpa ett synsätt som speglar den undersökande och utvärderande forskningsprocessen. Utmärkande för denna forskningsdesign är att det finns en tydlig formulering av vad som skall undersökas och utvärderas (Holme & Solvang, 1997; Patel & Davidson, 1994). Dessa målformuleringar styr valet av forskningsprocess, det vill säga val av målgrupp och variabler samt metoder för analys av insamlade data. De aktiviteter som genomsyrat forskningsprocessen åskådliggörs i figur 2.



Figur 2. Forskningsprocessen. Källa: Egen

3. Teoretisk referensram

Ävsikten med kapitlet är att ge en insikt i de teorier som ligger till grund för uppsatsens problemområde. Inledningsvis beskrivs skärsläckarens funktion, egenskaper och tillämpningsområden. Därefter sker en redogörelse för vattenstrålens uppbrott och vattendimmans släckande effekt.

3.1 Skärsläckarens funktion

Skärsläckarsystemet har tagits fram av företaget Cold Cut System (CCS). Systemet som går under namnet COBRA[®] – skärsläckaren, är patentansökt i enlighet med Patent Convention Treaty där patent har meddelats i Sverige, USA, Canada m.fl. länder. En patentansökan är även under behandling i Japan (CCS, 2006). De huvudsakliga beståndsdelarna i ett skärsläckarsystem består av följande sju komponenter:

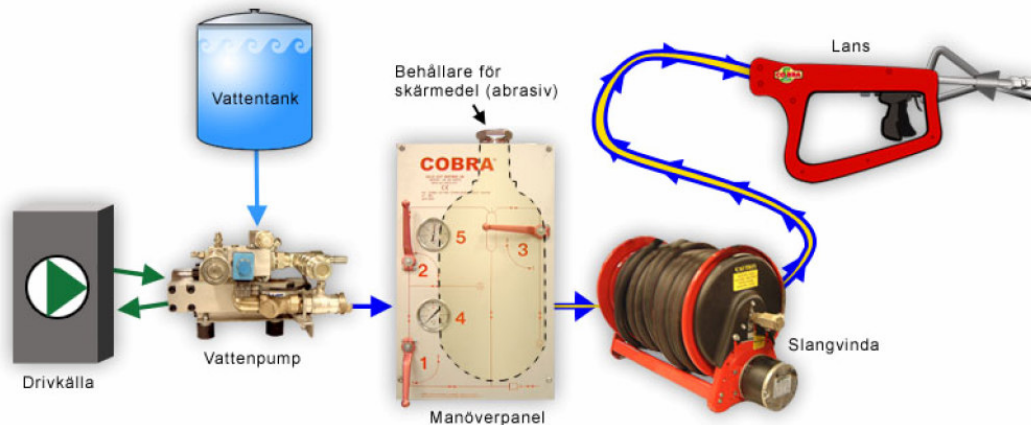
- *Handburen lans*
- *Formstabil slang*
- *Manöverpanel*
- *Behållare för skärmedel*
- *Vattentank*
- *Vattenpump*
- *Drivkälla*

Vattenpumpen drivs med hjälp av en drivkälla som normalt består av en dieselmotor. Pumpen som vanligtvis är hydrauldriven tar vattnet från en vattentank och trycksätter det till ca 280 bar. Om driftstörningar uppkommer i form av att vatten uteblir till pumpen, är vattenpumpen konstruerad för att klara av att drivas en längre period utan att haverera.

För att verktyget skall erhålla en bättre skärförmåga, tillsätts ett skärmedel (abrasiv) i vattnet. Abrasivet är en form av korund som normalt består av järnkiseloxid eller aluminiumoxid, med en medelkornstorlek på ca 0,6 mm. Abrasivet förvaras i en behållare som vanligtvis rymmer 20 liter. På abrasivbehållaren finns en manöverpanel med manometrar som anger trycket i systemet. Genom ejektorverkan sker en inblandning av abrasivet som motsvarar ca 5 %, vilket ger en abrasivförbrukning på ca 2,5 liter/minut. En standardtank som rymmer 20 liter abrasiv räcker till ca 8 minuters kontinuerlig skärning.

Vattnet och abrasivet leds till den handburna skärsläckarlansen via en formstabil gummislang med en diameter på en 1/2" som sitter på en slangvinda. Tryckförlusten i slangen är 0,4 bar per meter och normal slanglängd är ca 80 meter. På lansens finns två avtryckare som reglerar pådrag av vatten samt abrasiv.

Pådraget regleras av en radiosändare som via radiovågor skickar signaler till manöverpanelen för styrning av vattenpumpen respektive pådragsventilen för abrasivet. Systemet bygger på att skicka vatten under högt tryck genom ett munstycke med en liten area. Diametern på ett nytt munstycke är 2,1 – 2,2 mm. På lansen finns ett anslag som gör att man kan förflytta munstycket för vertikal och horisontell skärning. Genom att anslaget är roterbart är det även möjligt att skära en cirkelformad öppning.



Figur 3. Skärsläckarsystemets beståndsdelar. Källa: Soroczynski (2006)

3.2 Skärsläckarens egenskaper och tillämpningsområden

Mot bakgrund av de försök som gjorts med skärsläckaren framhålls verktygets främsta egenskap vara dess förmåga att penetrera in i ett brandrum och därefter kyla brandgaserna. De stora fördelarna med att bekämpa en rumsbrand på detta sätt är dels att den operativa personalen kan angripa branden utan att behöva ta sig in i rummet, dels att ingen luft tillförs brandrummet vid insatsen. Möjligheten att snabbt penetrera även grova material är dessutom en fördel då man arbetar mot dolda bränder (Bobert, 2002; Ivansson, 2003).

Försök visar 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 (Ingason et al., 2004; Räddningsverket, 2006; Bobert, 2002). Dock framhålls i litteratur och resultat från tester att denna goda egenskap hos verktyget 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 (Räddningsverket, 2000).

3.2.1 Ejektorverkan

Skärsläckarens förmåga att inte tillföra luft till brandrummet, beror till stor del på handhavandet. Vid insatser genom redan befintliga ventilationsöppningar kommer strålen i takt med att den bryts upp att suga med sig luft. Detta har bl.a. observerats av Räddningstjänsten i Mönsterås vid en övningsinsats mot brand i byggnad. I räddningsverkets tidskrift *Sirenen* (nr 5, 2003) berättar brandman Johansson följande:

"Vi väntade tills branden tryckt ut fönsterrutorna och testade med att släcka genom fönstret. Men det ledde till att vi blåste in en massa syre och gav dålig effekt. Om vi istället sköt genom väggen under fönstret fick vi ett mycket bättre resultat och branden slogs ned på ett par sekunder".

Liknande erfarenheter av att ejektorverkan från strålen kan vålla problem rapporteras även från andra räddningstjänster. Till exempel beskriver Räddningstjänsten i Gislaved – Gnosjö, att vid en direkt släckning mot en öppen brand i ett vedupplag resulterade ejektorverkan från strålen i att branden trycktes iväg vidare i vedupplaget (Palmkvist, 2006).

Ventilationens betydelse för skärsläckarens effekt tas även upp av Arvidson och Bobert i rapporten *"Släckförsök med skärsläckare i ett 500 m³ försöksrum, 2002"*, där författarna refererar till försök gjorda med skärsläckare mot fribrinnande dieselbränder utomhus. Försöken visade på att bränderna upplevdes som svårsläckta. Arvidson och Bobert menar att dessa försök visar att graden av ventilation påverkar släckresultatet. Det är dock oklart hur stor effektutvecklingen från dieselbränderna var.

3.2.2 Tillämpningsområden

I rapporten *"Skärsläckaren - tillkomst och utveckling, 2000"*, utgiven av Räddningsverket, framhölls bland annat följande områden där skärsläckaren med fördel ansågs kunna användas för brandbekämpning:

- Vindsbränder
- Källarbränder
- Brand i bjälklag och dolda utrymmen
- Brand i bostäder
- Brand i transportmedel (flyg, tåg, bussar etc.)

Vid en genomgång av de erfarenheter som nu (2007) finns av insatser med skärsläckaren, kan sammanställningen väl anses spegla verktygets användningsområden i dagsläget. Krister Palmkvist, brandmästare vid Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, har under de senaste fyra åren samlat erfarenheter från insatser med skärsläckare och sammanställt dessa i en erfarenhetsbank.

Materialet kommer främst från räddningstjänster runt om i landet (även synpunkter från utländska användare förekommer) och bygger på ett färdigställt formulär med frågor kring insatsen som fylls i av insatspersonalen. Formuläret berör bland annat frågor som: typ av brand, när skärsläckare sattes in etc. Diagram 1 visar fördelningen mellan olika typer av bränder där skärsläckare har använts.

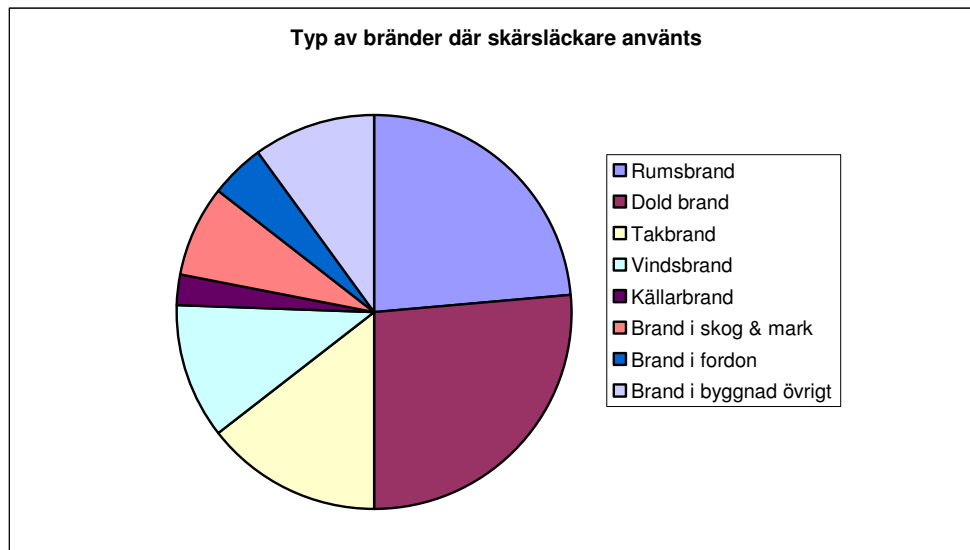


Diagram 1. Typ bränder där skärsläckare har använts vid insats. Källa: Palmkvist (2006)

3.3 Vattenstrålens uppbrott

Tidigare försök med skärsläckare har visat att vattenstrålen är relativt väl sammanhållen upp till ca 5 meter från munstycket där ett uppbrott av strålen sker. Innan upprottet har strålen en inre kärna som innehåller det mesta vattnet samt ett litet yttre område med en viss vattenhalt. Vid sju meter från munstycket har strålen brutit upp helt och sugit in luft som rör sig med samma hastighet som vattendropparna (Räddningsverket, 2000). I dessa försök studerades dock inte hur strålen påverkas då den skjuts genom en fast kropp, t.ex. en vägg- eller takkonstruktion. Resultat från försöket sammanfattas i tabell 1.

Tabell 1. Strålens utformning. Källa: Räddningsverket (2000)

Avstånd från munstycke (m)	0	1	4	7
Diameter - inre kärna (mm)	2*	15	60	-
Diameter - hela strålen (mm)	2*	100	400	1100

*Utgångsdiameter är beräknad med en munstycksdiameter 2,2 mm och en flödeskoefficient på 0,83.

Även försök utförda av personal från Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund i samarbete med SP visar att uppbrottet för en opåverkad stråle inträffar ungefär sju meter från munstycket (Ingason, 2004).

3.4 Vattendimma

Vattendroppar med små droppdiametrar brukar benämnas som vattendimma i släcksammanhang. Det finns ingen klar definition för hur stora vattendropparna från ett släcksystem får vara för att fortfarande få gå under denna benämning. NFPA definierar vattensprayer med droppar mindre än 1 mm som vattendimma och gör en uppdelning i tre olika klasser. I klass 1, den finaste vattendimman, ska 90 % av dropparna vara mindre 0,2 mm och 10 % mindre än 0,1 mm (Andersson & Holmstedt, 1997).

Droppstorleksfördelningen, d.v.s. sannolikheten att en droppe har en viss volym, är för skärsläckaren inte känd. Vid tidigare studier har man antagit att volymmedeldiametern för dropparna ligger kring 0,1 mm. 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 droppstorleksfördelningen beskriver hur stor del av den totala volymen som utgörs av droppar med en diameter mindre än ett givet värde. Enligt den kumulativa Rosin-Rammler-fördelning som Särdaqvist ger för droppstorleken i vattensprayer och antagandet att volymmedeldiametern är 0,1 mm, skulle droppstorleksfördelningen i vattensprayer från skärsläckaren se ut enligt diagram 2 (Särdaqvist, 2002).

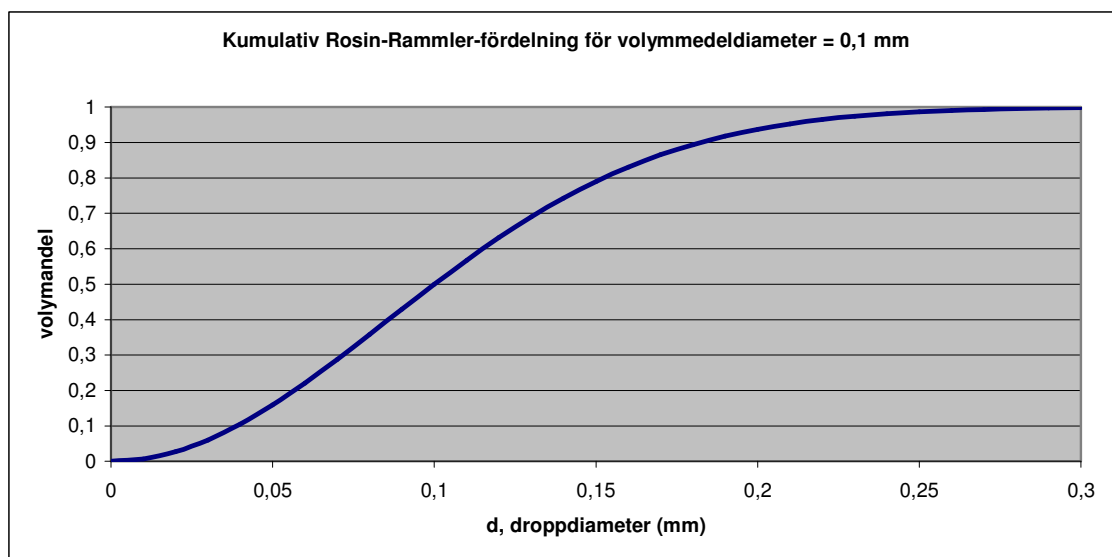


Diagram 2. Droppdiameter i vattensprayer. Källa: Särdaqvist (2002)

Med de antagande som gjorts skulle alltså vattensprayen från skärsläckaren klassificeras som en fin vattendimma enligt NFPA. Detta är naturligtvis ingen garanti för att så verkligen är fallet, men resultatet antyder att ett resonemang kring skärsläckarens släckverkan kan baseras på de kunskaper som finns om vattendimma som släckmedel.

3.4.1 Vattendimma som släckmedel vid gasfasverkan

Genom att kombinera termisk släckteori med energibalans för förblandade flammor har Andersson & Holmstedt (1997) visat att det finns en undre gräns för vatteninnehållet i en vattendimma för att släckning genom gasfasverkan ska vara möjlig.

Den termiska släckteorin grundas på att den adiabatiska flamtemperaturen för kolvätebränslen är ungefär konstant vid släckgränsen. Den adiabatiska flamtemperaturen, T_{ad} , är fiktiv, men kan användas för att beräkna hur mycket en flamma måste kylas för att slockna (Särdqvist, 2002). Den värmebalans som Andersson & Holmstedt använder kan förenklat uttryckas som i figur 4.

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{energi som frigörs} \\ \text{vid förbränning} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{energi som krävs för:} \\ \bullet \text{ uppvärmning av förbrännings-} \\ \text{produkter till } T_{ad} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \text{energi som krävs för:} \\ \bullet \text{ uppvärmning av vatten i vätskeform} \\ \bullet \text{ förångning av vatten} \\ \bullet \text{ uppvärmning av vattenånga till } T_{ad} \end{array}}$$

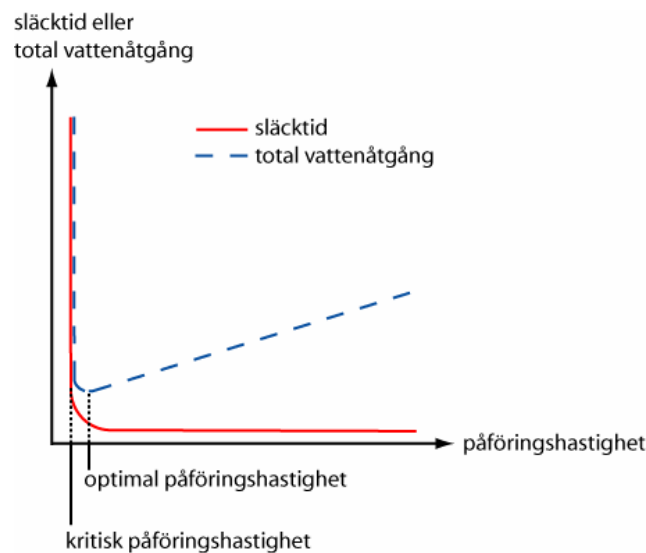
Figur 4. Värmebalans. Källa: Efter Andersson & Holmstedt (1997)

Energibalansen i figur 4 gäller precis vid släckgränsen. Den sista termen i högerledet representerar hur mycket energi som absorberas av den minsta möjliga mängd vatten som krävs för släckning av flammen. Utifrån sambandet i figuren kan denna mängd vatten bestämmas. Andersson & Holmstedt har beräknat den undre gränsen för vatteninnehållet i en vattendimma vid släckning av förblandade flammor av propan, som kan anses vara ett representativt kolväte. De fann att det krävs ungefär 280 gram vatten per kubikmeter luft för att släckning skulle vara möjlig.

Värmeförlusten från en diffusionsflamma är normalt sett större än från en förblandad flamma. Detta innebär att mindre släckmedel krävs för att släcka diffusionsflammar (Särdqvist, 2002). Andersson & Holmstedt menar att förblandade flammor vanligtvis kräver mellan 50 till 100 % mer släckmedel och att det därför minst skulle behövas ungefär 140-190 gram vatten per kubikmeter luft vid släckning av diffusionsflammar med vattendimma.

3.4.2 Vatten som släckmedel vid ytverkan

Särdqvist & Holmstedt (2000) har visat att det finns en minsta kritisk påföringshastighet ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$) för vatten som släckmedel vid ytverkan. Vid denna påföringshastighet är dock tiden till släckning i princip oändligt lång och den totala vattenåtgången (l/m^2) blir därför obegränsat stor. Vid ökad påföringshastighet kommer tiden till släckning att reduceras och den totala vattenåtgången att minska fram till en påföringshastighet där vattnet utnyttjas optimalt. Vid en ytterligare ökning av påföringshastigheten kommer tiden till släckning i princip att vara konstant och därför ökar den totala vattenåtgången, se figur 5.



Figur 5. Schematisk skiss över kritisk och optimal påföringshastighet.
Källa: Efter Särdqvist & Holmstedt (2000)

Med statistik från verkliga bränder som underlag menar Särdqvist & Holmstedt att vid praktisk tillämpning är den kritiska påföringshastigheten 7-8 ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$) och att vattnet utnyttjas optimalt vid en påföringshastighet av 9-15 ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$). Ytan som avses är golvyta eller horisontell bränsleyta.

4. Empirisk undersökning

I detta kapitel sker inledningsvis en redogörelse för den försöksuppställning som testerna baseras på. Därefter redovisas resultaten från de experimentella tester som genomförts för att besvara studiens syfte och forskningsfrågor.

4.1 Försöksuppställning

Försökslokal

Försöken med skärsläckaren utfördes på Räddningsverkets skola i Rosersberg. Försökslokalen som användes har de ungefärliga måtten 10 m × 20 m × 4 m (b×l×h) och vid samtliga försök var skärsläckaren riktad i lokalens längdriktning, se figur 6. På vardera kortsidan i lokalen finns en port. Dessa hölls stängda under försöken och öppnades endast mellan försöken för att ventileras ut vattendroppar från lokalen.

Provkroppar

Vid försöken studerades skärsläckarens egenskaper vid penetration av sju olika provkroppar. Totalt utfördes 21 försök varav ett av försöken utgjorde referensförsök, där skärsläckaren inte penetrerade någon provkropp. Respektive provkropps dimension och sammansättning återfinns i bilaga A.

- *Prov 1: Fasadvägg av trä*
- *Prov 2: Träbjälklag*
- *Prov 3: Industrivägg/tak med ytskikt av plåt*
- *Prov 4: Lättklinkerblock (250 mm)*
- *Prov 5: Betongblock (100 mm)*
- *Prov 6: Betongblock (190 mm)*
- *Prov 7: Träregel (70 x 90 mm)*

Provkropparna 1 till 3 var uppbyggda av en regelstomme och motsvarade en väggyta på 1 m². Övriga provkroppar monterades i en ram vars yttermått var identiska med regelstommens. Vid försöken säkrades regelstommen eller ramen m.h.a. skruvtvingar till en ställning av vinkeljärn som monterades med bultar på en lastpall. Under denna placerades sedan ytterligare lastpallar så att provkroppens mitt befann sig 1,5 m över golvet, se bild 1. På ställningen monterades även en plywoodskiva med ett rutnät om 0,1 m × 0,1 m. Syftet med rutnätet var att fungera som referens vid bedömning av vattenstrålens uppbrott vid utgångshålet i provkroppen.

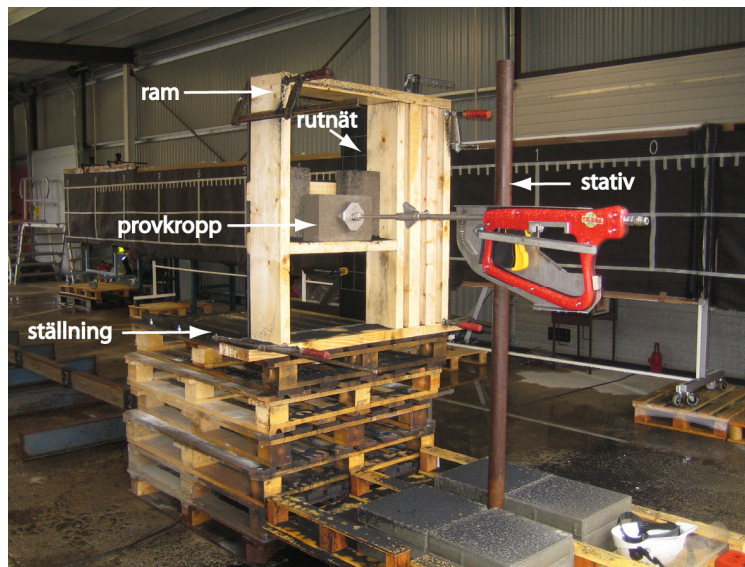


Bild 1. Försöksuppställning av provkropp och skärsläckare

Skärsläckaren

Vid försöken användes skärsläckningsutrustning från Räddningsverkets skola i Rosersberg. Pump och abrasivkäril var monterade på en släckbil och 65 m slang användes fram till lansen. Innan försöken monterades ett nytt munstycke (diameter 2,1 mm) på lansen. Samma operatör, Anders Johansson från CCS, användes vid samtliga försök.

För att undvika påverkan från operatören som källa för variationer i resultat mellan försöken, monterades skärsläckaren i ett stativ vid minst ett försök på varje provkropp. Vidare utfördes ett försök utan abrasivinblandning i vattnet på vardera provkroppen 1 till 4. Vid samtliga försök placerades munstycket på skärsläckaren 1,5 m över golvet och distansen vid munstycket dikt an mot provkroppen.

Referenslinje

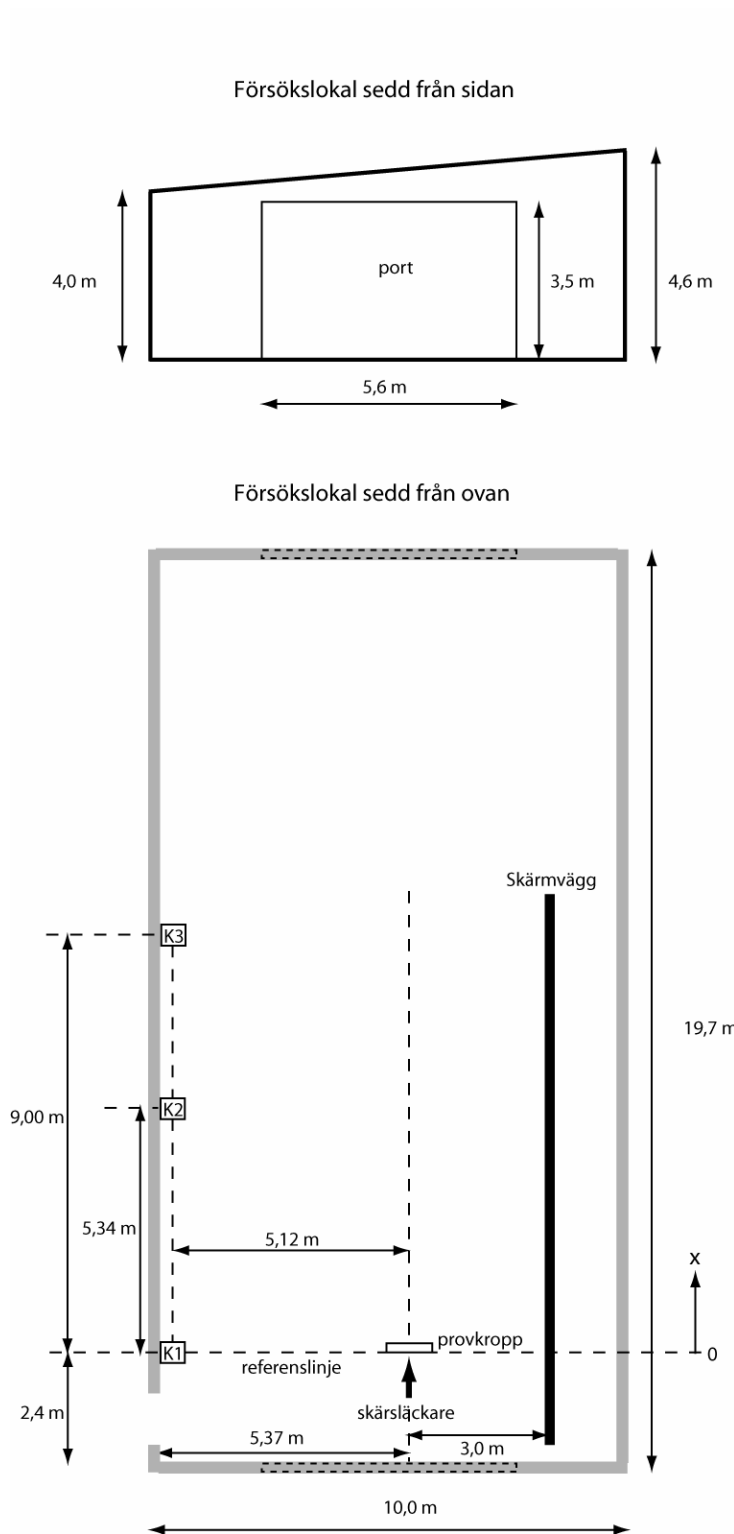
En referenslinje som utgick från den sidan av provkroppen som vette mot skärsläckaren användes som utgångspunkt vid mätningar i strålens riktning. Denna riktning kommer fortsättningsvis att refereras till som x-led. Således är $x = 0$ på referenslinjen. Som utgångspunkt för mätningar i höjddled (y-led) användes munstyckets höjd över golvet, vilket ger att $y = 0$ vid 1,5 m över golvet.

Skärmvägg

För att kunna bestämma avståndet från munstycket i strålens riktning (x-led) användes en skärmvägg med en längdskala. Längdskalan hade sin nollpunkt vid referenslinjen och var graderad med en noggrannhet på 0,1 m. Skärmväggen placerades parallellt med långsidan på lokalen och det vinkelräta avståndet till strålens tänkta centrumlinje var 3,0 m, se figur 6. På skärmväggen fanns även en grov skala i höjddled, y-led. Den bestod av tre parallella linjer som löpte 1 m, 1,5 m och 2 m över golvet.

Kameror

Tre stycken digitala videokameror (K1, K2, K3) användes för att dokumentera samtliga försök. Kamerorna var placerade 1,5 m över golvet och det vinkelräta avståndet till strålens tänkta centrumlinje var 5,12 m. Den första kameran var placerad på referenslinjen. Den andra och tredje kameran var placerade vid 5,34 m respektive 9,00 m från munstycket i x-led, se figur 6. Bildhastigheten för samtliga kameror var 25 bilder per sekund.



Figur 6. Försöksuppställning

4.2 Tid till penetrering av provkropp

Vid de totalt 20 försöksserier som genomfördes med provkroppar, varierades munstyckets position på respektive provkropp. Bilaga A redovisar munstyckets placering vid respektive försök. Fyra av försöken genomfördes utan abrasivinblandning i vattenstrålen. Vid varje försök där abrasiv tillfördes kördes skärsläckaren ett tag innan penetrering av provkroppen påbörjades, för att förhindra en fördröjning av frammatningen av skärmedlet till munstycket.

Vid samtliga försök visade det sig att vattenstrålen relativt snabbt fick en samlad strålbild, utan någon nämnvärd uppbrottsvinkel, direkt efter genomslag av provkroppen (se bild 2). Tabell 2 redovisar tid för genomslag av respektive provkropp där skärsläckaren var monterad på stativ vid försöket, medan tabell 3 redovisar försök utförda med operatör.



Bild 2. Genomslag av Provkropp 1 (försök 1), efter ca 2 sekunder

Tabell 2. Tid till genomslag av provkropp. Försök utförda med skärsläckare monterad på stativ

Prov	Försök*	Penetreringstid (sek)	Kommentarer
1	1	2	
1	2	3,5	
1	4	3,5	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet
2	1	1	
2	3	1,2	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet
3	1	2,3	
3	2	2,3	
3	4	-	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet. Försöket avbröts efter ca 50 s (endast ett litet märke kunde identifieras på provets ytskikt) och ett genombrott skedde aldrig.
4	1	173	
4	3	-	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet. Försöket avbröts efter ca 80 s (provet vattenfylldes och vatten trängde igenom provkroppen) och ett genombrott skedde aldrig.
5	1	251,5	
7	1	16	

*Försökets numrering avser munstyckets placering på provkroppen, se bilaga A

Prov 1: Träpanelvägg

Prov 2: Träbjälklag

Prov 3: Industrivägg/tak med ytskikt av plåt

Prov 4: Lättklinkerblock (250 mm)

Prov 5: Betongblock (100 mm)

Prov 7: Träregel (70 x 95 mm)

Tabell 3. Tid till genomslag av provkropp. Försök utförda av operatör

Prov	Försök*	Penetreringstid (sek)	Kommentarer
1	3	1	
2	2	1	
3	3	2,5	
4	2	354	
4	3	3,5	Munstycket placerades ca 15-20 cm från provkroppen.
5	2	282	
6	2	-	Försöket avbröts efter ca 440 s (p.g.a. att skärmedlet tog slut) och ett genombrott skedde aldrig. Penetreringsdjupet i provet var ca 11 cm.
7	2	105	

*Försökets numrering avser munstyckets placering på provkroppen, se bilaga A

Prov 1: Träpanelvägg

Prov 2: Träbjälklag

Prov 3: Industrivägg/tak med ytskikt av plåt

Prov 4: Lättklinkerblock (250 mm)

Prov 5: Betongblock (100 mm)

Prov 6: Betongblock (190 mm)

Prov 7: Träregel (70 x 95 mm)

4.3 Vattenstrålens uppbrott

Vid samtliga försök där vattenstrålen penetrerade provkropparna har uppbrottet uppkommit på ett avstånd längre än 5 m från munstycket. Uppbrottet definieras som en punkt där vattnet övergår från att vara koncentrerat till stålens inre kärna till en mer jämn fördelning över stålens tvärsnittsyta, samt där strålens spridningsvinkel ökar markant. Bild 3 åskådliggör hur vattenstrålen bryts upp efter att ha penetrerat en provkropp.

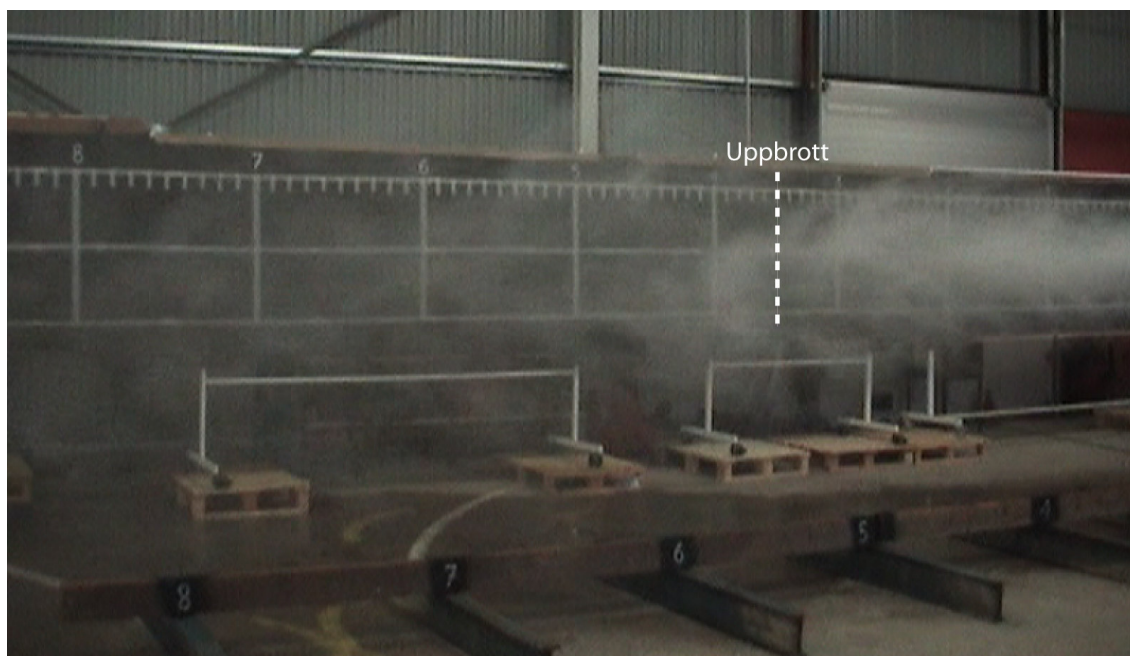


Bild 3. Uppbrott av vattenstråle efter penetrering av provkropp

Tabell 4 redovisar avståndet från skärsläckarens munstycke till vattenstrålens uppbrott, då skärsläckaren vid försöket var monterad på ett stativ. Tabell 5 redovisar försök utförda med operatör.

Tabell 4. Avståndet från skärsläckarens munstycke till vattenstrålens uppbrott. Försök utförda med skärsläckare monterad på stativ

Prov	Försök*	Avstånd till uppbrott (m)	Kommentarer
1	1	5,1 – 5,4	
1	2	5,0 – 5,3	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet
1	4	–	Vattenstrålen träffade referensskärmen på ställningen. Svårt att bedöma avstånd till uppbrott.
2	1	5,1 – 5,4	
2	3	5,1 – 5,5	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet
3	1	5,0 – 5,3	
3	2	5,0 – 5,3	
3	4	–	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet. Försöket avbröts efter ca 50 s (endast ett litet märke kunde identifieras på provets ytskikt) och ett genombrott skedde aldrig.
4	1	5,2 – 5,5	
4	3	–	Försöket utfört utan abrasiv tillsatt i vattnet. Försöket avbröts efter ca 80 s (provet vattenfylldes och vatten trängde igenom provkroppen) och ett genombrott skedde aldrig.
5	1	5,2 – 5,5	
7	1	5,1 – 5,4	

*Försökets numrering avser munstyckets placering på provkroppen, se bilaga A

Tabell 5. Avståndet från skärsläckarens munstycke till vattenstrålens uppbrott. Försök utförda av operatör

Prov	Försök*	Avstånd till uppbrott (m)	Kommentarer
1	3	4,9 – 5,2	
2	2	5,1 – 5,5	
3	3	5,1 – 5,4	
4	2	5,2 – 5,5	
4	3	–	Munstycket placerades ca 15-20 cm från provkroppen. Vattenstrålen träffade snett ned mot golvet. Svårt att bedöma avstånd till uppbrott.
5	2	5,2 – 5,5	
6	2	–	Försöket avbröts efter ca 440 s (p.g.a. att skärmedlet tog slut) och ett genombrott skedde aldrig. Penetreringsdjupet i provet var ca 11 cm.
7	2	5,0 – 5,3	
		5,5 – 5,9	Referensförsök där skärsläckaren inte penetrerade någon provkropp.

*Försökets numrering avser munstyckets placering på provkroppen, se bilaga A

Prov 1: Träpanelvägg

Prov 2: Träbjälklag

Prov 3: Industrivägg/tak med ytskikt av plåt

Prov 4: Lättklinkerblock (250 mm)

Prov 5: Betongblock (100 mm)

Prov 6: Betongblock (190 mm)

Prov 7: Träregel (70 x 95 mm)

Studier av vattenstrålen visar att strålbilden är relativt väl sammanhållen fram till uppbrottet, för att sedan markant bryta upp (se bild 4 och figur 7). I tabell 6 redovisas vattensprayens geometri, för nio försök, vid olika avstånd från munstycket.

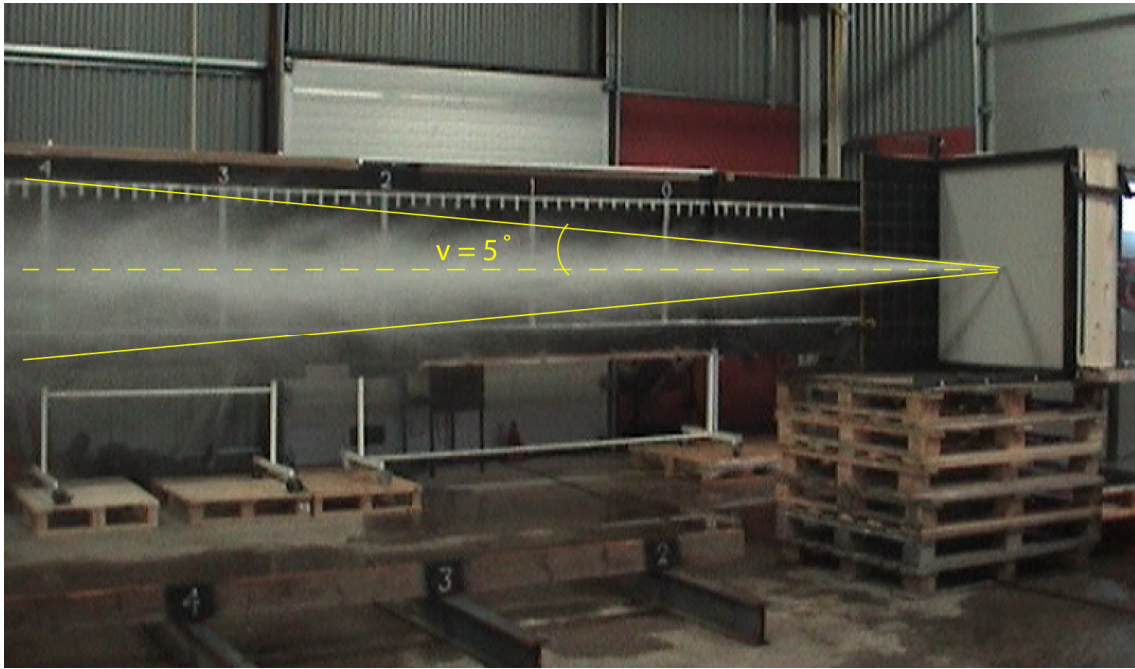
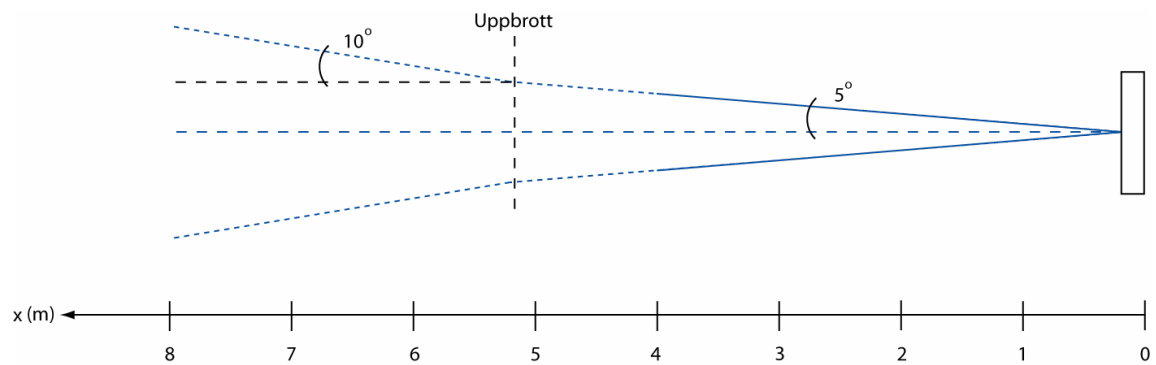


Bild 4. Vattenstrålens uppbrott



Figur 7. Vattenstrålens uppbrott

Tabell 6. Vattensprayens diameter vid givet avstånd från skärsläckarens munstycke.
Försök utförda med skärsläckare monterad på stativ

Prov	Försök*	Avstånd från munstycket (m)	Vattensprayens diameter (m)
1	1	5,0 : 6,0 : 7,0 : 8,0	0,86 : 1,18 : 1,46 : 1,72
1	2	5,2 : 6,1 : 7,1 : 8,0	1,02 : 1,38 : 1,62 : 1,86
2	1	5,0 : 6,0 : 7,0 : 8,0	0,88 : 1,22 : 1,52 : 1,78
3	1	5,0 : 6,0 : 7,0 : 8,0	0,88 : 1,24 : 1,56 : 1,82
3	2	5,3 : 6,2 : 7,2 : 8,1	1,00 : 1,36 : 1,64 : 1,90
4	1	5,2 : 6,1 : 7,1 : 8,0	0,90 : 1,24 : 1,56 : 1,82
5	1	5,2 : 6,1 : 7,1 : 8,0	1,06 : 1,42 : 1,70 : 1,94
7	1	5,0 : 6,0 : 7,0 : 8,0	0,88 : 1,18 : 1,46 : 1,76
	**	5,0 : 6,0 : 7,0 : 8,0	0,84 : 1,18 : 1,48 : 1,80

*Försökets numrering avser munstyckets placering på provkroppen, se bilaga A

** Referensförsök där skärsläckaren inte penetrerade någon provkropp

Prov 1: Träpanelvägg

Prov 4: Lättklinkerblock (250 mm)

Prov 2: Träbjälklag

Prov 5: Betongblock (100 mm)

Prov 3: Industrivägg/tak med ytskikt av plåt

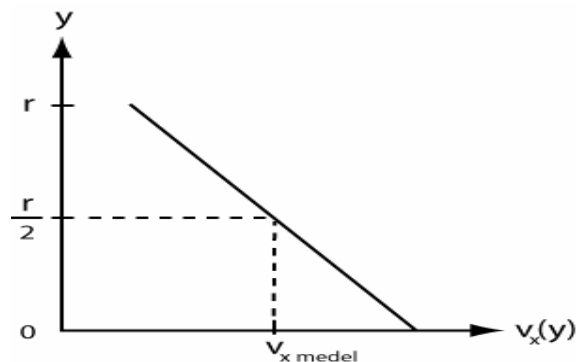
Prov 7: Träregel (70 x 95 mm)

4.4 Vattenhastighet i sprayen

Samtliga försök som utfördes spelades in med digitala videokameror med en bildhastighet av 25 bilder per sekund. För varje provkropp valdes ett försök ut där abrasiv användes och skärsläckaren var monterad i stativ. Försök med stativ valdes för att utesluta eventuell påverkan från operatören som en faktor för variation. Videoupptagningarna från dessa försök analyserades därefter i ett videoredigeringsprogram med möjlighet att se enskilda bildrutor.

Efterhand som vattenstrålen bryter upp bildas tillfälliga strukturer av vattendropparna i denna. På avstånd ungefär 4 m från munstycket har vattendropparna i strålen bromsats upp så mycket att det är möjligt att identifiera samma struktur på två på varandra följande bildrutor. Genom att avläsa hur långt strukturen förflyttar sig i x-led mellan två bildrutor, m.h.a. skalan på skärmväggen, och multiplicera denna sträcka med 25, fås en uppskattning av hastigheten i (m/s).

Försöken visar att vid ungefär 5 m från munstycket bryter vattenstrålen upp helt och övergår till en vattenspray. Det finns då inte längre någon kärna av vatten i strålens centrum, utan vattendropparna är relativt jämnt fördelade över strålens tvärsnitt. Hastigheten hos vattendropparna beror på både radiell och axiell position hos droppen samt visar även ett tidsberoende, då strålen tenderar att pulsera. Dropparnas hastighet avtar i strålens riktning (x-led) ju längre de kommer från munstycket samt avtar i strålradiens riktning (y-led), desto längre de kommer ifrån strålens centrum. Med den metod som beskrevs ovan var det möjligt att uppskatta hastigheten i x-led från sprayens centrum ut till drygt halva radien. Däremot gick det inte att uppskatta hastigheten i x-led hos de vattendroppar som befann sig i sprayens ytterkanter. I de beräkningar som har gjorts antas det därför att den radiella variationen av hastigheten i x-led är linjär och därför kan representeras av ett medelvärde, som är lika med hastigheten vid halva radien i sprayen, se figur 8.



Figur 8. Antagen medelhastighet för vattensprayen

Antagandet att vattendropparnas hastighet i x-led avtar ju längre ifrån sprayens centrum de befinner sig, stöds av observationer från försöken. De strukturer av vattendroppar som bildades i försöken visade sig ofta vara lutande eller v-formade med spetsen i sprayens riktning, se bild 5.

Vattenhastigheten i x-led uppskattades vid mellan fyra och åtta meter från munstycket, både i sprayens centrum samt vid grovt halva radien, i sammanlagt tio till femton punkter för varje försök. Mätningarna gjordes vid olika starttider under varje försök.

Eftersom strålen tenderade att pulsera vid försöken är hastigheten vid en given x- och y-koordinat inte konstant över tid för samma försök. För att utesluta tid som en variabel utfördes därför mätningar av hastigheten i fyra punkter på olika avstånd från munstycket under samma tidsintervall. Mätningarna gjordes mellan fyra och åtta meter från munstycket vid grovt halva radien.

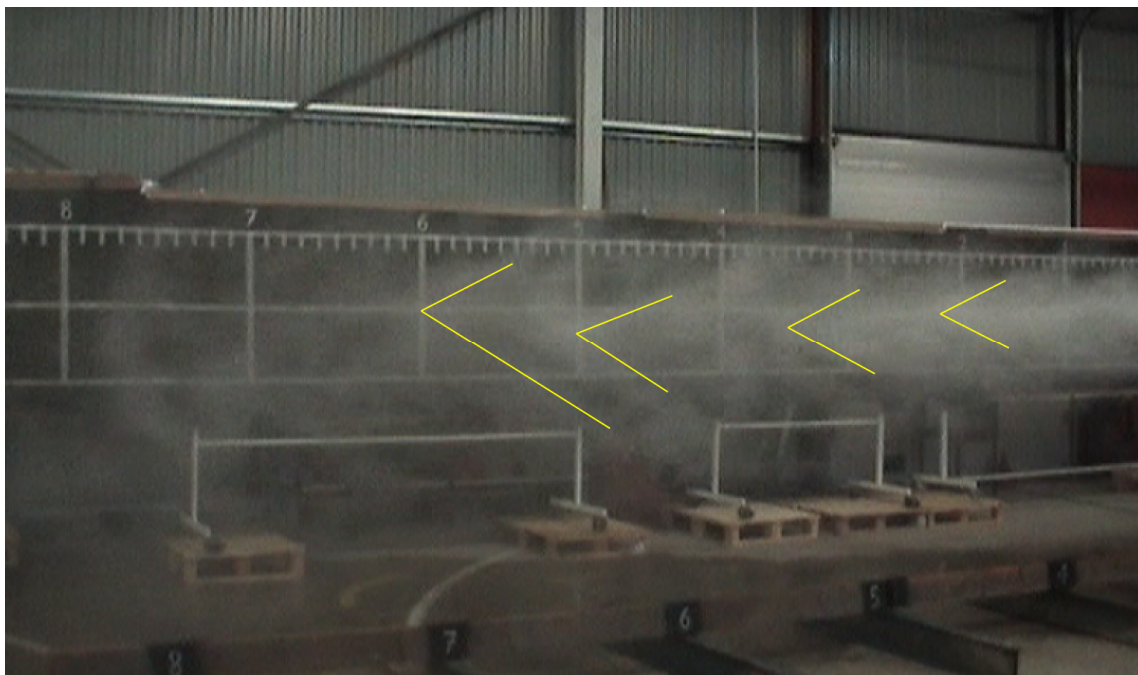


Bild 5. Lutande och v-formade strukturer bildade av vattendroppar

Resultaten från analysen av hastigheten i sprayen redovisas i diagram 3, 4 och 5. Diagrammen visar hastigheten i sprayens centrum samt vid grovt halva radien som funktion av avstånd från munstycket. Trenden att vattenhastigheten avtar med ökat avstånd från munstycket samt att den är högre i sprayens centrum framgår tydligt i diagrammen.

Genom minsta-kvadrat-metoden har regressionslinjer för hastigheten i sprayens centrum samt vid grovt halva radien tagits fram. Ekvationen för respektive regressionslinje visas

till höger i diagrammen och uttrycker hastigheten, v (m/s), som en funktion av avståndet till munstycket, x (m). Determinationskoefficienten, R^2 -värdet, för regressionslinjerna visar att ungefär 50 % av variationen i hastighet kan förklaras av förändringen i avstånd från munstycket.

Längdskalan som användes för mätning av avstånd till munstycket hade en noggrannhet på 0,1 m. Vid mätningarna av hastigheten avrundades strukturernas avstånd till munstycket därför till hela decimetrar. Detta innebär att strukturens förflyttning under tidsintervallet kan ha under- eller överskattats med 0,1 m. Då förflyttningen sker under 1/25-dels sekund och strålens centrumlinje ligger 3 m framför skärmväggen ger detta att hastigheten under- eller överskattats med ungefär 1,6 (m/s). Denna felmarginal illustreras i diagrammen av de streckade linjerna.

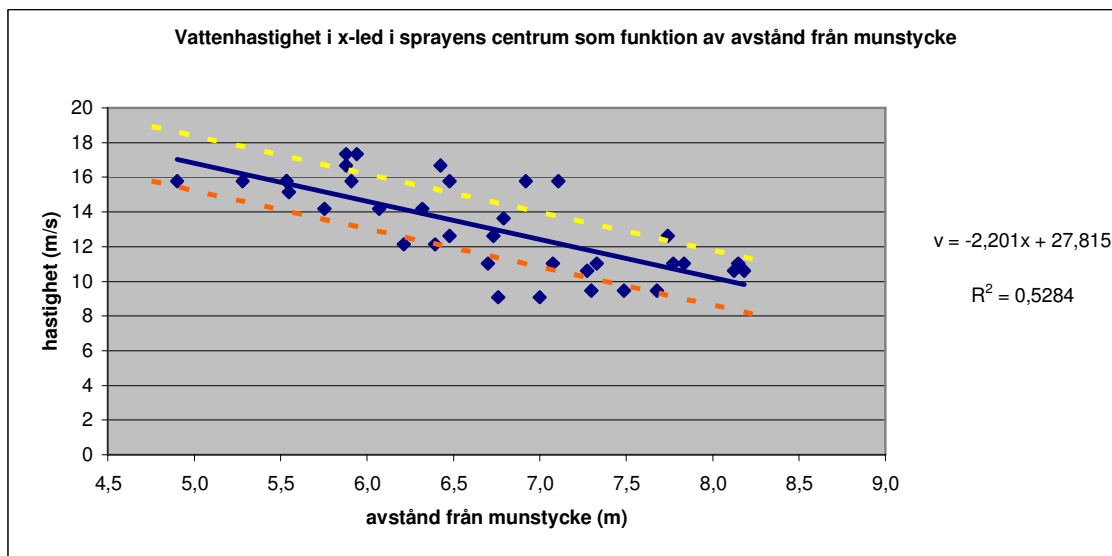


Diagram 3. Vattenhastighet i sprayens centrum (x-led) som en funktion av avstånd från munstycket

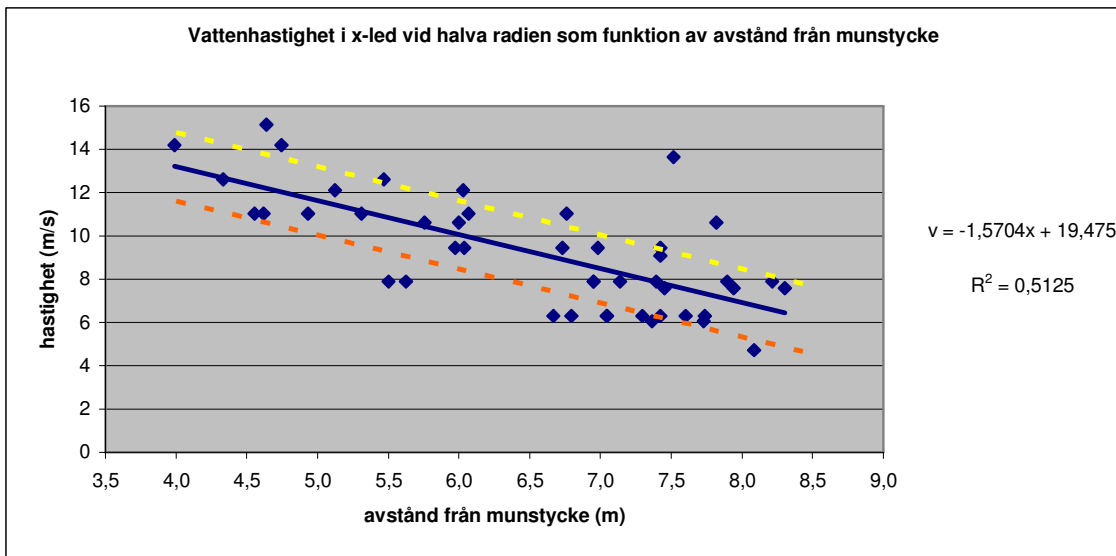


Diagram 4. Vattenhastighet vid halva radien (x-led) som en funktion av avstånd till munstycke

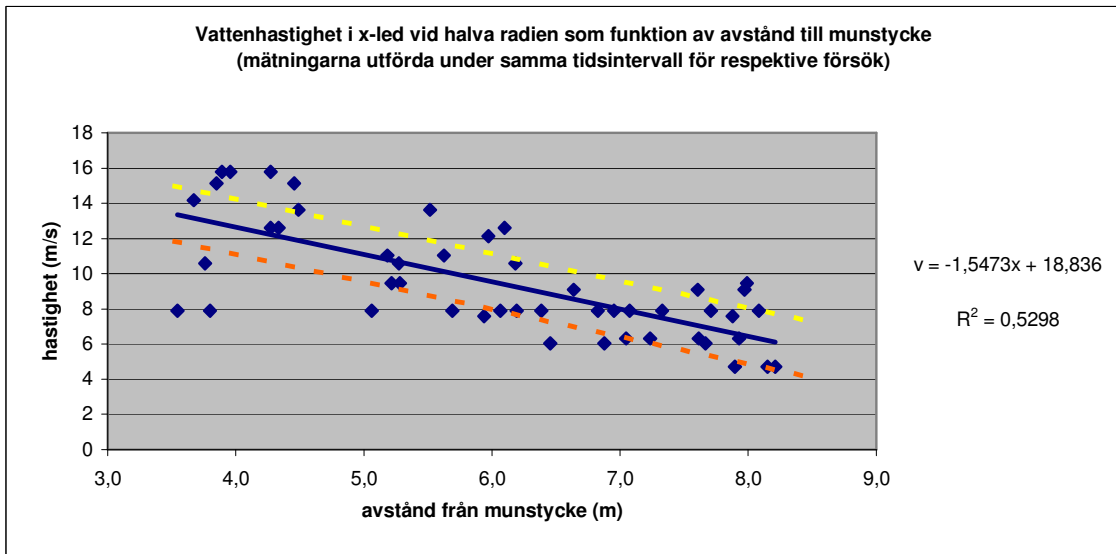


Diagram 5. Vattenhastighet vid halva radien (x-led) som en funktion av avstånd till munstycke. Mätningar utförda under samma tidsintervall

Regressionsuttrycken från diagrammen 4 och 5 visar god överensstämmelse för hastigheten vid halva radien som en funktion av avstånd från munstycket. En sammanvägning av resultaten ger att på ett avstånd mellan fyra och åtta meter från munstycket kan vattenhastigheten i x-led, $v_{vx}(x)$ (m/s), uppskattas som en funktion av avståndet till munstycket i x-led, x (m), som:

$$v_{vx}(x) \approx -1,6x + 19 \quad , \quad 4 \leq x \leq 8$$

Enligt det tidigare resonemanget om att vattenhastigheten vid halva radien är ett representativt medelvärde, kommer detta uttryck fortsättningsvis att användas som en approximation av medelhastigheten för vattensprayen i x-led, från strålens uppbrott fram till åtta meter från munstycket.

4.5 Tvärsnittsarea för vattenspray efter uppbrott

Genom att analysera videoupptagningarna från försöken kunde vattensprayens utbredning i höjdd (y-led) uppskattas. För att kunna se eventuella samband mellan hastighet i sprayen och dess utbredning, ingick samma försök som användes för att uppskatta medelhastigheten i analysen. För varje hel meter mellan 5 och 8 meter från munstycket bestämdes vattensprayens genomsnittliga utbredning från sprayens centrum till dess kant. Med antagandet att vattensprayen är rotationssymmetrisk i x-led bestämdes sprayens genomsnittliga radie. Analysen resulterade i det regressionsuttryck för sprayens radie som en funktion av avstånd till munstycket som presenteras i diagram 6.

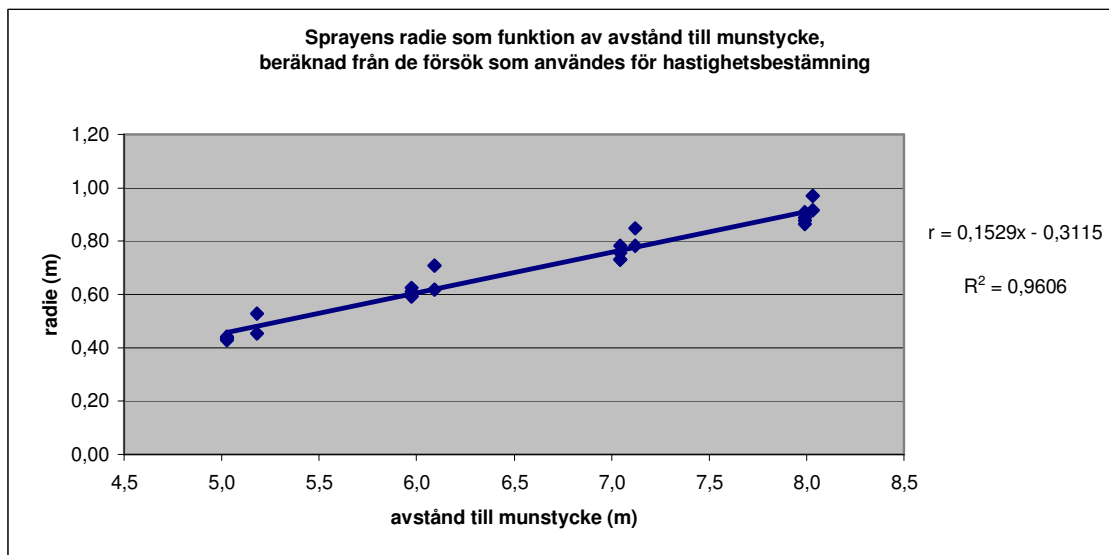


Diagram 6. Beräknad radie för vattensprayen som funktion av avstånd till munstycket

Antagandet att sprayen är rotationssymmetrisk gör att dess tvärsnittsarea ges av: πr^2 , där r är sprayens radie. Tvärsnittsarean för sprayen som funktion av avstånd till munstycket presenteras i diagram 7. Arean är beräknad utifrån det regressionsuttryck för radien som redovisas i diagram 6.

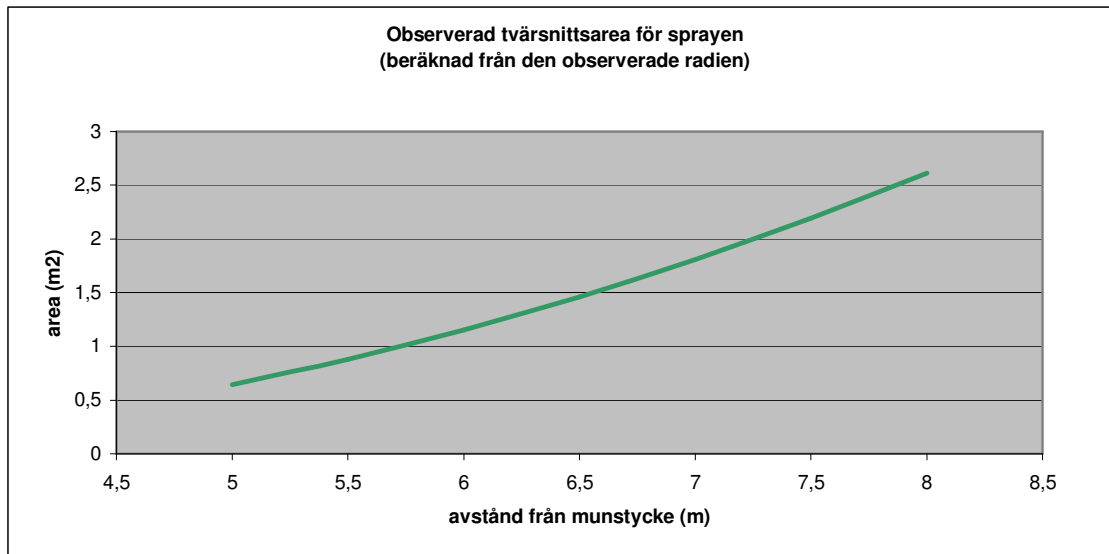


Diagram 7. Observerad tvärsnittsarea för sprayen

4.6 Beräknade egenskaper hos vattenspray efter uppbrott

Med det empiriska uttrycket för medelhastigheten i x-led för vattnet i sprayen som presenterades tidigare, kan massflödet luft i sprayen uppskattas efter uppbrottet. Denna uppskattning bygger på en rad antaganden, vilka tillsammans med de beräkningar som gjorts återfinns i sin helhet i bilaga C. Här presenteras de antaganden som anses vara av störst vikt.

Efter uppbrottet antas hastigheten och fördelningen av vattendroppar vara jämn över ett tvärsnitt vinkelrätt mot sprayen. Medelhastigheten i x-led antas alltså gälla för hela tvärsnittet. Vidare antas att luften i sprayen har accelererats till samma hastighet som vattendropparna.

Den genomsnittliga spridningsvinkeln för sprayen, vinkeln mellan lansens förlängning och sprayens rand, är förhållandevis liten ungefär 7° . Mot bakgrund av detta antas ungefär 90 % av rörelsemängden vid munstycket överföras till sprayen i x-led.

Från det uppskattade massflödet luft kan övriga egenskaper hos sprayen beräknas; volymflöde luft, tvärsnittsarea samt vatteninnehåll. Då massflödet luft beräknas utifrån medelhastigheten för vattnet i sprayen, kommer en felaktig uppskattning av hastigheten att påverka beräkningarna. Detta fel fortplantas sedan vidare vid uppskattningarna av sprayens övriga egenskaper. För att illustrera detta presenteras sprayens egenskaper i diagram 8, 9, 10 och 11 där den aktuella storheten har beräknats utifrån det empiriska uttrycket för medelhastigheten, samt utifrån den undre respektive övre felmarginalen för medelhastigheten som tidigare nämnts.

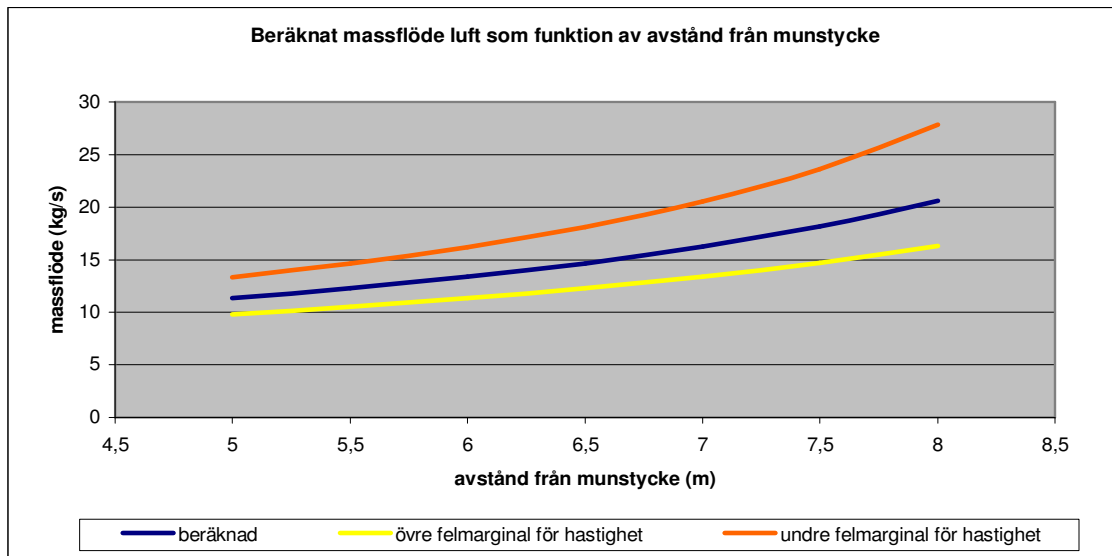


Diagram 8. Beräknat massflöde luft som funktion av avstånd från munstycket

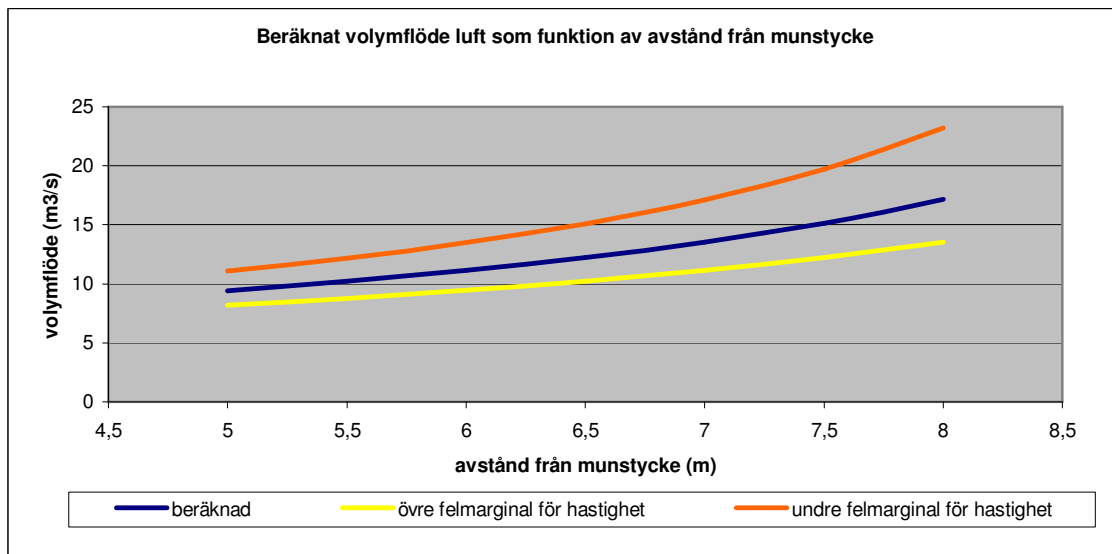


Diagram 9. Beräknat volymflöde luft som funktion av avstånd från munstycket

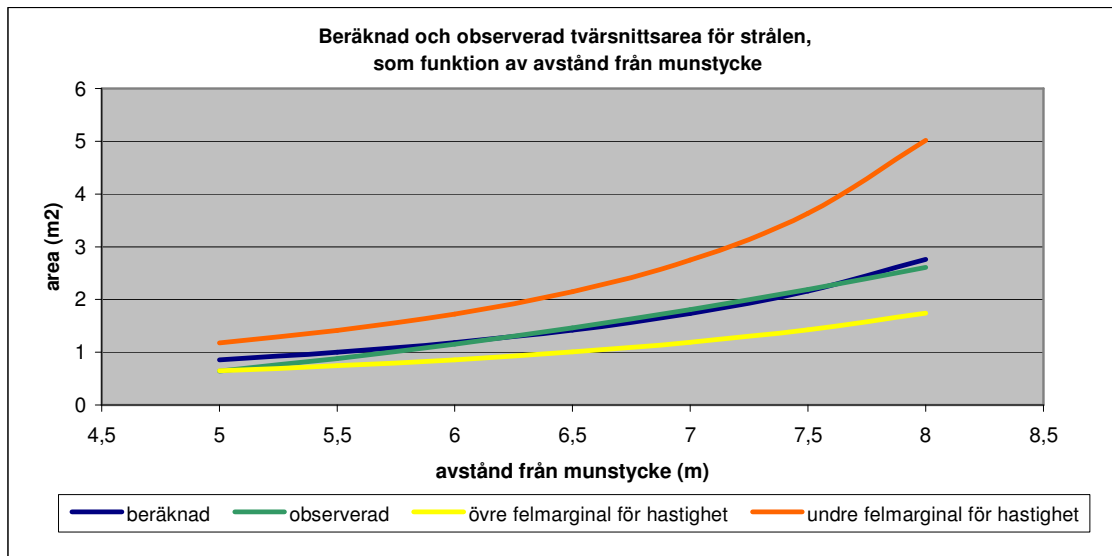


Diagram 10. Beräknad respektive observerad tvärsnittsarea för sprayen som funktion av avstånd från munstycket

Diagram 10 redovisar en jämförelse mellan den beräknade samt observerade tvärsnittsarean för sprayen som funktion av avstånd till munstycket. Den observerade arean har beräknats utifrån antagandet att vattensprayen är rotationssymmetrisk. Indata till beräkningarna kommer från observerad radie för sprayen vid olika avstånd från munstycket. Den beräknade tvärsnittsarean för sprayen har härletts från det empiriska uttrycket för medelhastigheten, se bilaga C. Beräknat vatteninnehåll i sprayen som funktion av avstånd från munstycket redovisas i diagram 11. Vatteninnehåll i sprayen bygger på beräkningar som redovisas i bilaga C.

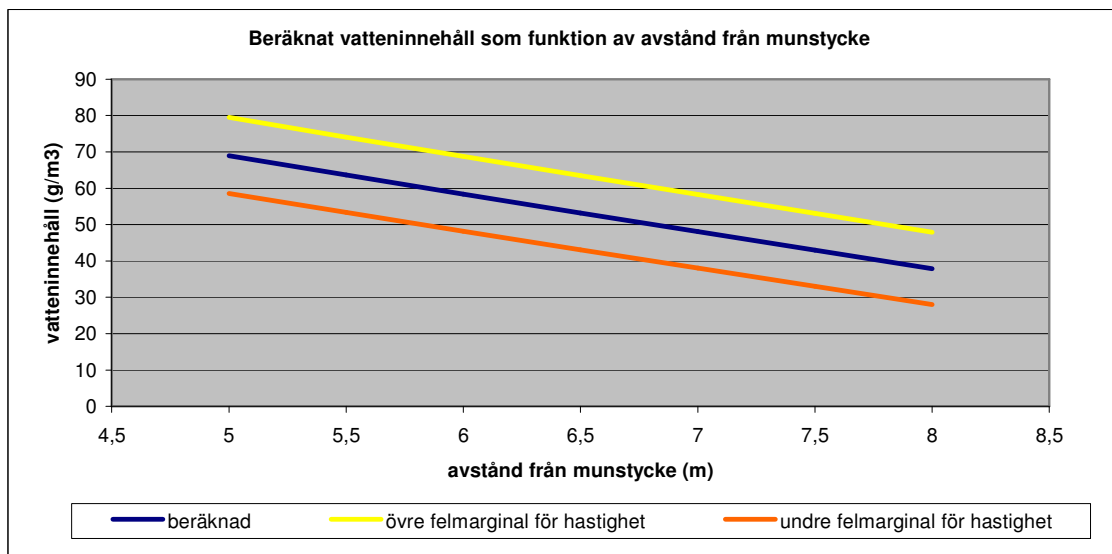


Diagram 11. Beräknat vatteninnehåll i sprayen som funktion av avstånd från munstycket

5. Analys

Detta kapitel utgör en analys av studiens teoretiska referensram, samt av de resultat som framkommit vid den empiriska undersökningen.

5.1 Tid till penetrering av provkropp

Försöksresultaten visar att penetrationstiden för de sammansatta provkropparna, Prov 1 till 3, är betydligt kortare än för de homogena provkropparna, Prov 4 till 7. Detta resultat är dock ej överraskande då de sammansatta provkropparna till största del består av isolering. En inbördes jämförelse mellan de olika sammansatta provkropparna visar på att samtliga prov penetrerades på mindre än 4 sekunder. Denna överensstämmelse i genomslagstid kan förmodligen förklaras av likheten i provkropparnas konstruktion, isolering omgiven av tunnare hårda ytskikt. Skillnaden i penetrationstid för de försök där skärsläckaren var monterad i stativ respektive handburen är så liten för de sammansatta provkropparna, att det sätt på vilken skärsläckaren läggs an mot provkroppen förmodas ha mindre betydelse i dessa fall.

Resultaten från försöken med de homogena provkropparna visar på betydligt större inbördes skillnader. De mest anmärkningsvärda resultaten visar försöken med lättklinkerblocken. Penetrationstiden var här knappt 3 min då stativ användes och knappt 6 min då skärsläckaren var handburen. Då operatören i ett nytt försök flyttade tillbaka munstycket 15-20 cm från lättklinkerblocket kunde detta penetreras på endast 3-4 sekunder, vilket betyder att penetrationstiden kan förändras med en faktor 100 beroende på handhavandet.

Även vid försöken med de tunnare betongblocken (100 mm) kunde en skillnad ses i penetrationstid beroende på om skärsläckaren var monterad i stativ, drygt 4 min, eller handburen, drygt 4,5 min. Dock var skillnaden inte så markant som i försöken med lättklinkerblocken. På de grövre betongblocken (190 mm) utfördes endast ett försök då skärsläckaren var handburen. Försöket avbröts efter knappt 7,5 min då vattenstrålen hade lyckats tränga igenom drygt halva provkroppen. Uppskattningsvis hade det krävts ungefär 15 min för vattenstrålen att ta sig igenom hela blocket, vilket innebär att två abrasivkärlnästan hade tömts under en insats. Försöken med träreglar uppvisar på liknande sätt skillnader i penetrationstid. Det krävdes ca 15 sekunder för att penetrera provkroppen då skärsläckaren var monterad i stativ och ungefär 7 gånger så lång tid då den var handburen.

Benämningen homogen provkropp som används för de prover som inte bestod av flera skikt är något missvisande då varken lättklinker, betong eller trä är homogena material i ordets sanna mening. Samtliga material uppvisar en oregelbunden struktur på en mindre skala beroende på porositet, inblandning av makadam, ådring etc. Detta kan

vara en anledning till skillnad i penetrationstid för olika försök på samma material. Till exempel har vattenstrålen en tendens att följa ådringen vid penetration av träkonstruktioner. Bortsett från detta är den generella trenden i försöksresultaten för de homogena provkropparna, undantaget den snabba penetrationen av lättklinkerblocket, att penetrationstiden är kortare då skärsläckaren är monterad i stativ.

För Prov 1 till 4 utfördes även försök utan abrasivinblandning i vattnet. Avsaknaden av abrasiv ändrade inte penetrationstiden för Prov 1 och 2 nämnvärt. Däremot avbröts försöken med Prov 3 och 4 efter knappt 1 min respektive knappt 1,5 min, då strålen utan abrasivinblandning i dessa fall inte tycktes påverka provkroppen i någon större utsträckning.

5.2 Vattenstrålens uppbrott

Vid alla försök där vattenstrålen penetrerade en provkropp var avståndet till uppbrottet någonstans mellan 5 och 5,5 m från munstycket, oavsett om abrasiv användes eller ej. Referensförsöket, där ingen provkropp penetrerades, visade att en opåverkad stråle bryter upp något senare, ungefär vid 5,5 till 6 m. Resultaten tyder på att typ och tjocklek för det byggnadselement som penetreras inte påverkar avståndet till strålens uppbrott nämnvärt.

Vid samtliga försök fick vattenstrålen relativt snabbt en samlad strålbild, utan någon nämnvärd uppbrottsvinkel direkt efter genomslag av provkroppen. Detta indikerar att när väl strålen brutit igenom provkroppen spelar provkroppens beskaffenhet inte längre någon större roll för strålens egenskaper. Något som förklarar varför avståndet till strålens uppbrott sammanfaller för de olika försöken.

5.3 Släckning genom gasfasverkan – horisontell användning

Vid de försök som gjordes var skärsläckaren monterad med lansens horisontellt på en höjd av 1,5 m över golvet. Försöken visar att golvet vattenbegjuts efter strålens uppbrott, d.v.s. efter ungefär 5 till 6 m från munstycket, men att största delen av vattnet fortsätter horisontellt. Detta talar för att vid horisontell användning av skärsläckaren kommer släckverkan till största del att ske genom gasfasverkan mot flammor.

Som tidigare nämnts har det visats att det minst krävs ungefär 140 till 190 gram vatten per kubikmeter luft för att släcka en diffusionsflamma, då detta endast görs genom kylning av flammen (Andersson & Holmstedt, 1997). Beräkningarna förutsätter att allt vatten förångas och att vattenången värms upp till den adiabatiska flamtemperaturen. Om detta intervall används som riktvärde visar sig det beräknade vatteninnehållet i sprayen, mellan 5 och 8 m från munstycket, utgöra maximalt 50 % av det vatteninnehåll som krävs för att släcka en diffusionsflamma (se diagram 11). Det ska understrykas att det beräknade vatteninnehållet är ett medelvärde över strålens tvärsnittsytan och både högre, framförallt i sprayens centrum, och lägre koncentrationen av vatten förekommer lokalt. Vatteninnehållet i sprayen/strålen ökar givetvis med minskat avstånd till munstycket, men detta är ett resultat av att tvärsnittsarean minskar. På avstånd under 5 m från munstycket är strålens tvärsnittsarea mindre än drygt en halv kvadratmeter och användningen av det högre vatteninnehållet är därför begränsad.

Följande diskussion om skärsläckarens släckverkan baseras på det uppskattade vatteninnehållet i sprayen som erhållits från försöken. Det är viktigt att understryka att det inte är en slutsats baserad på försök med skärsläckare mot bränder utan ett teoretiskt resonemang och därför bör behandlas därefter.

Det jämförelsevis låga vatteninnehållet i sprayen tyder på att en diffusionsflamma inte kan släckas även om allt vatten i sprayen förångas i flammen och värms upp till flamtemperaturen. En flamma släcks då reaktionshastigheten i förbränningsprocessen understiger ett minsta värde som krävs för att upprätthålla processen (Andersson & Holmstedt, 1997). Denna reaktionshastighet styrs av reaktionstemperaturen samt koncentrationen av bränsle och syre och beskrivs förenklat av Ahreniusfunktionen (Särdqvist, 2002):

$$v = AC_f C_o \times e^{\frac{-E_A}{RT}}$$

där v = reaktionshastighet (mol/s)

A = reaktionskonstant

C_f = bränslekonzentration (mol/m³)

E_A = aktiveringsenergi (J/mol)

C_o = syrekonzentration (mol/m³)

R = allmänna gaskonstanten (J/mol×K)

T = reaktionstemperatur (K)

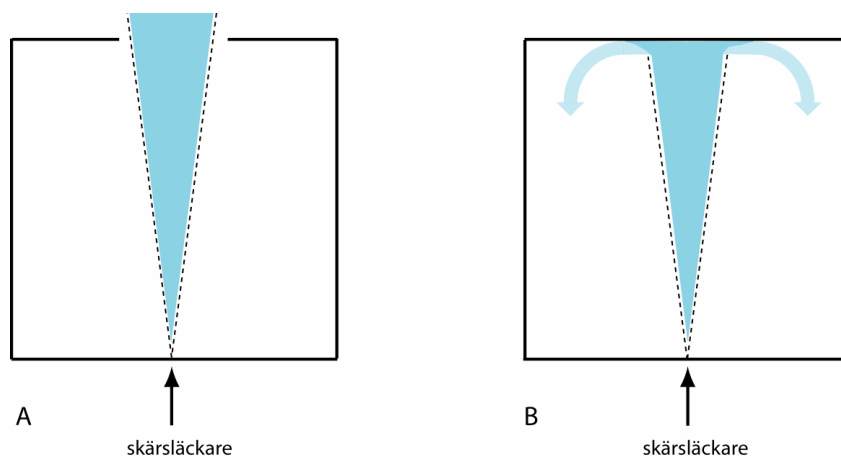
För vatten som släckmedel finns tre möjligheter att reducera reaktionshastigheten i en diffusionsflamma, reduktion av reaktionstemperaturen (flamtemperaturen) eller sänkning av syre- och/eller bränslekonzentrationen genom utspädning av luften med vattenångor.

Förutsatt att allt vatten i sprayen från skärsläckaren förångas i flammen krävs det alltså att flammans temperatur sänks ytterligare och/eller att syre- och/eller bränslekonzentrationen i brandrummet reduceras för att släcka flammen. Detta skulle kunna åstadkommas av att den producerade vattenången hindras från att lämna brandrummet. Arvidson och Hertzberg (2001) menar att en reduktion av syrekonzentrationen i brandrummet som följd av produktion av vattenångor kan leda till kraftigt sänkta reaktionshastigheter. Då brandrummet är dåligt ventilerat kan tillförseln av vattenångor vara ett mycket effektivt sätt att släcka branden.

I det fall att vattenstrålen inte träffar flammen kan vattnet helt, delvis eller inte alls förångas av heta ytor eller brandgaser i brandrummet. Gemensamt är att vattnet på något sätt måste föras till flammen. Om vattnet helt förångas av en annan källa än flammen kommer vattenången, förutsatt att den kommer i kontakt med flammen, att ha en sämre kylande verkan på denna då vattnet redan har förångats. Något som leder tillbaka till resonemanget ovan, med den skillnaden att flammen kyles i mindre utsträckning. Om vattnet inte alls förångas är den återstående möjligheten att vatteninnehållet i brandrummet ökar successivt med tiden upp till kriteriet 140-190 gram vatten per kubikmeter luft. Denna process kommer dock att motverkas av att det endast är de mindre vattendropparna som kan följa med luftströmmen, som viker av, då sprayen träffar en vägg. De större dropparna kommer att träffa väggen. Dessutom faller samtliga droppar, om än med varierande hastighet, mot golvet. Fallet där vattnet delvis förångas av en annan källa än flammen blir ett mellanting av de båda sistnämnda fallen.

Gemensamt för hela resonemanget kring släckning av diffusionsflammar är att släckverkan ökar om vattnet, som vätska eller gas, hindras från att lämna brandrummet. Detta medför att ventilationsförhållandena i brandrummet kommer att vara av stor

betydelse. En jämförelse mellan två extremfall görs i figur 9. I fall A lämnar allt vatten i strålen/sprayen brandrummet. Om vatteninnehållet i strålen/sprayen är under släckkriteriet kommer flaman inte att kunna släckas, även om allt vatten förångas i flaman. I fall B hindras vattnet helt från att lämna det dåligt ventilerade brandrummet och det finns möjlighet att, enligt resonemanget ovan, släcka flaman trots att vatteninnehållet i sprayen är för lågt.



Figur 9. Olika ventilationsförhållanden i brandrummet

Enligt Arvidson och Hertzberg (2001) finns det ett samband mellan effektutveckling hos branden och effektiviteten i släckverkan av en sänkt syrekonzentration. De menar att en minskad tillgång på syre blir särskilt effektiv om branden är så stor att mängden syre i utrymmet snabbt blir begränsande för brandutvecklingen. Detta leder till att det kan vara lättare att med vattendimma släcka en brand med en stor effektutveckling, än en brand med liten effektutveckling. Detta resonemang är speciellt intressant eftersom tidigare försök med skärsläckare visar på förekomsten av detta fenomen (Bobert, 2002). Försöken utfördes på SP i Borås och omfattade bland annat insats med skärsläckare mot dieselpoolbränder mellan 1 och 4 MW. Resultaten visade att det endast var branden med den minsta effektutvecklingen som skärsläckaren inte lyckades släcka. Det nämns även i rapporten att tidigare försök med skärsläckare har visat att en öppen dieselbrand utomhus är svårsläckt utan tillsats av skummedel som appliceras direkt på branden.

Mot bakgrund av detta resonemang finns det därför anledning att tro att produktionen av vattenånga samt ventilationsförhållandena i brandrummet har stor betydelse för skärsläckarens släckverkan mot diffusionsflammar.

5.4 Släckning genom ytverkan – vertikal användning

Då skärsläckaren används vertikalt kommer vattnets verkan mot bränsleytan att vara av större betydelse än vid horisontell användning. De huvudsakliga tillämpningsområdena för skärsläckaren är i dagsläget bekämpning av bränder i rum och källare samt på tak och vindar. Detta medför att det vertikala avståndet mellan skärsläckaren och bränsleytan, d.v.s. rumshöjden, kommer att vara i storleksordningen 3 m. På detta och kortare avstånd från munstycket är strålen väl sammanhållen och hastigheten är så pass hög att vattnet förmodligen inte kommer att hinna förångas i någon större utsträckning i brandgaser eller flammor. I diagram 12 visas påföringshastigheten ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$), förutsatt att inget vatten förångas, samt strålens tvärsnittsarea (m^2) som funktion av avstånd från munstycket.

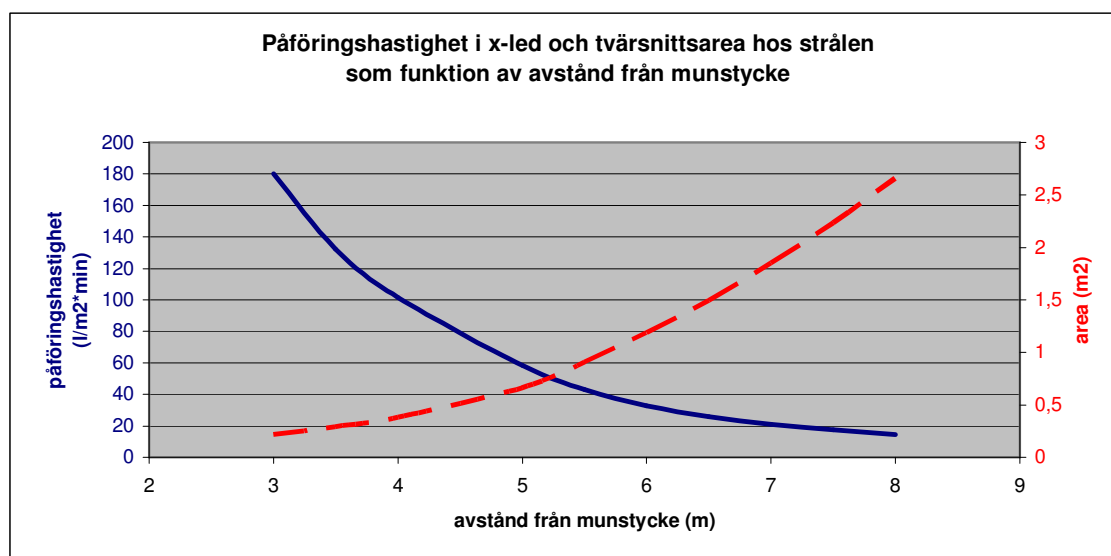


Diagram 12. Påföringshastighet och strålens tvärsnittsarea mellan 3 och 8 meter från munstycket

Som det tidigare nämnts menar Särdaqvist & Holmstedt (2000) att vid praktisk tillämpning är den kritiska påföringshastigheten 7-8 ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$) och att vattnet utnyttjas optimalt vid en påföringshastighet av 9-15 ($\text{l/m}^2 \times \text{min}$), där ytan som avses är golvyta eller horisontell bränsleyta. Slutsatsen är därför att påföringshastigheten från skärsläckaren är mer än tillräcklig för släckning genom ytverkan vid vertikal användning, förutsatt att vattnet når bränsleytan.

Av diagram 12 framgår att strålens tvärsnittsarea är förhållandevis liten på korta avstånd från munstycket. Detta medför att strålen kommer att ha svårigheter att täcka större bränsleytor. Den väl samlade strålen innebär även att den kraft per ytenhet som överförs till bränsleytan kommer att vara påtaglig. Som exempel kan nämnas att tidigare försök visar att skärsläckaren, utan abrasivinblandning i vattnet, skär hål genom en 16 mm

spånskiva på 5 sekunder vid två meters avstånd från munstycket (Räddningsverket, 2000).

5.5 Brandgaskylning

En av de vanligaste tillämpningarna av skärsläckaren inom räddningstjänsten är som verktyg för att sänka temperaturen i brandrummet och därmed underlätta den fortsatta släckinsatsen. För att få en uppfattning om hur stor brandgasvolym skärsläckaren kan kyla och hur snabbt detta sker kan en energibalans ställas upp.

När vattnet från skärsläckaren kommer i kontakt med brandgaser kommer det att förångas. Energin som krävs för att förånga vattnet tas från brandgaserna och kommer att resultera i en temperatursänkning hos dessa. Om det antas att allt vatten förångas fås den maximala kyleffekten på brandgaserna. Energibalansen kan då skrivas som att den energi som brandgaserna förlorar måste vara lika stor som den energi som krävs för att förånga vattnet.

I diagram 13 redovisas den maximala volymen brandgaser som kan kylas per sekund, som funktion av den initiala brandgastemperaturen. Denna volym kommer givetvis att vara beroende av till vilken temperatur brandgaserna kyla. Graferna i diagrammet representerar kylning av brandgaserna till 200 respektive 100 °C.

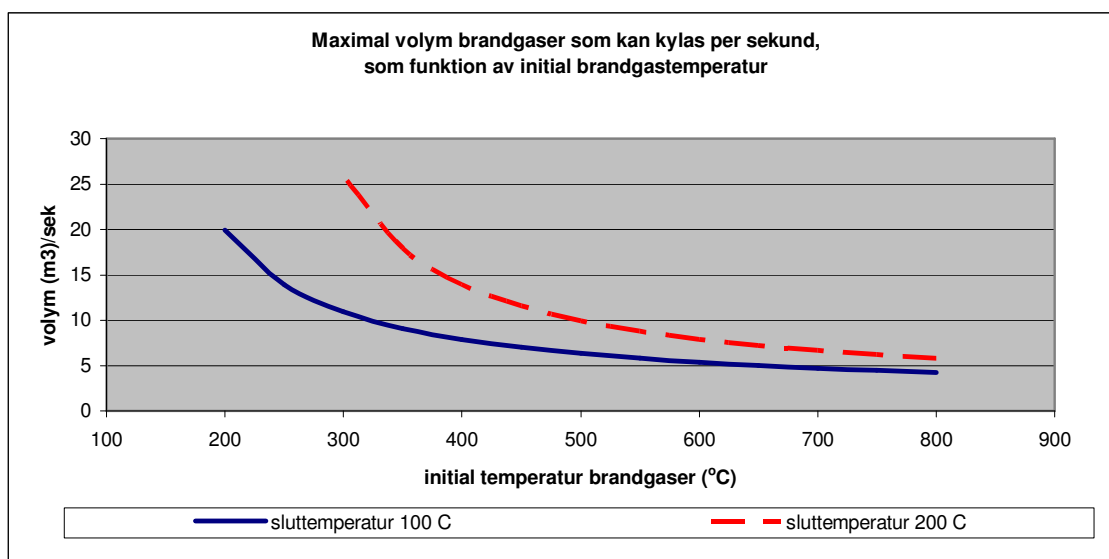


Diagram 13. Maximal volym brandgaser som kan kylas per sekund, som funktion av initial brandgastemperatur

Praktiskt sett är det dock av större intresse att uppskatta hur lång tid som behövs för att åstadkomma en önskad temperatursänkning i brandrummet. I diagram 14 redovisas den minsta teoretiska tiden för kylning som funktion av brandgastemperatur efter insats. Graferna i diagrammet gäller för en brandgasvolym på 100 m³ och baseras på den maximala volymen brandgaser som kan kylas per sekund. Tiden är proportionell mot brandgasvolymen och därför kommer t.ex. 50 m³ brandgaser att kräva halva tiden för att samma temperatursänkning ska åstadkommas. Det är mycket viktigt att understryka att detta är den minsta teoretiska tiden för kylning som behövs och att det i verkligheten alltid kommer att ta längre tid. Vid beräkningarna (se bilaga C) antas att allt vatten förångas av brandgaserna och att det sprids på ett sådant sätt att temperatursänkningen blir lika stor i hela brandgasvolymen. Detta är naturligtvis inte sant och i praktiken, i synnerhet i större lokaler och utrymmen där vattendropparna stöter på hinder, kommer temperaturen att variera.

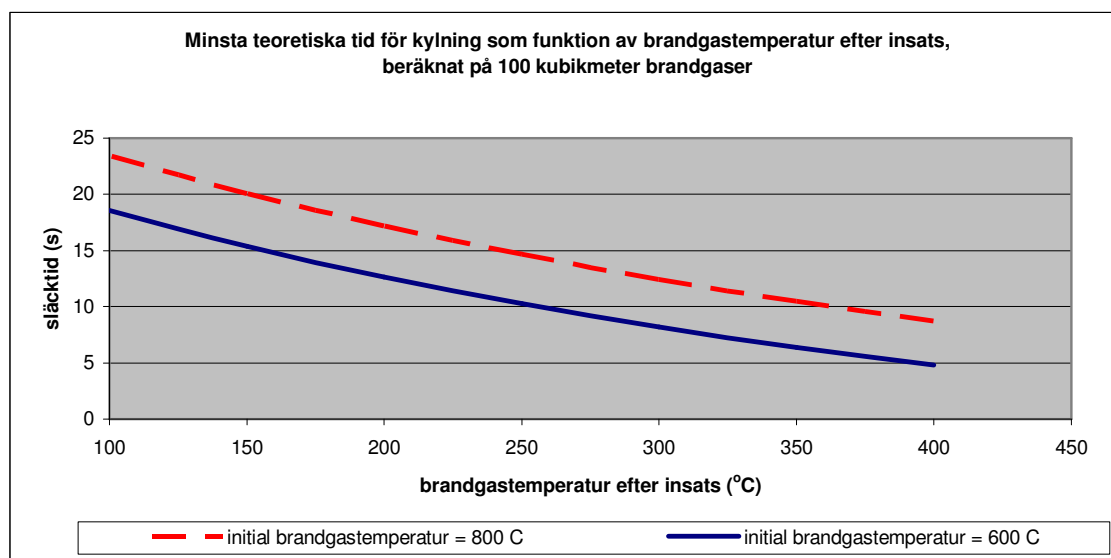


Diagram 14. Minsta teoretiska tid för kylning av brandgaser som funktion av brandgastemperatur

6. Slutsatser

Kapitlet inleds med att behandla de teoretiska och praktiska slutsatser som anknyter till studiens syfte och forskningsfrågor. Avslutningsvis diskuteras idéer och områden för fortsatt forskning som väckts i samband med studiens genomförande.

6.1 Tid till penetrering av provkropp

Försöksresultaten bekräftar den intuitiva uppfattningen att penetrationstiden för skärsläckaren ökar med tjocklek och densitet hos byggnadselementet. Oregelbundenhet i byggnadselementens struktur på en mindre skala, t.ex. ådring, inblandning av makadam, förekomst av porer etc., verkar kunna spela en avgörande roll för penetrationstiden. Detta gör att penetrationstiden i vissa fall sannolikt bör kunna reduceras betydligt med en van operatör.

6.2 Vattenstrålens uppbrott

Avståndet från munstycket till vattenstrålens uppbrott verkar inte i någon större utsträckning vara relaterat till det byggnadselement som penetreras. Försöksresultaten visar att strålens uppbrott sker mellan 5 och 5,5 meter från munstycket för samtliga provkroppar. Förklaringen är förmodligen att byggnadselementet inte påverkar strålen nämnvärt då denna väl brutit igenom materialet. Detta styrks av att en fri stråle som inte penetrerar någon kropp uppvisar ungefär samma, något längre, avstånd till uppbrottet. Framtida studier av t.ex. droppstorleksfördelning i fria strålar borde därför kunna överföras även på fall där strålen penetrerar ett byggnadselement. Vidare leder likheten i strålens beteende vid penetration av olika byggnadselement till slutsatsen att också släckverkan i de olika fallen bör uppvisa samma överensstämmelse.

6.3 Släckverkan

Det beräknade vatteninnehållet i sprayen uppgår till maximalt 50 % av den vattenmängd som enligt tidigare studier av vattendimma krävs för att släcka diffusionsflammar genom gasfasverkan. Förmodligen är gasfasverkan den huvudsakliga mekanismen i skärsläckarens släckverkan och därför är det förhållandevis låga vatteninnehållet i sprayen något överraskande. Tidigare studier av skärsläckaren visar på en god släckverkan mot bränder i inneslutna utrymmen och därför är den intressanta frågeställningen snarare *varför* denna goda släckverkan erhålls än *om* den gör det. Enligt det resonemang som förs i rapporten finns det mycket som talar för att graden av ventilation i brandrummet och förångningen av släckvattnet är av stor betydelse för skärsläckarens gasfasverkan mot flammar. Vilket i så fall skulle innebära att

skärsläckarens släckverkan är begränsad i mycket välventilerade utrymmen och vid situationer där släckvattnet inte förångas, om släckningen inte sker genom ytverkan.

Vid vertikal användning av skärsläckaren, t.ex. vid källar- eller vindsbränder är takhöjden uppskattningsvis i storleksordningen 3 meter. På detta avstånd från munstycket är strålen väl sammanhållen och därför kommer förmodligen den största delen av vattnet nå bränsleytan utan att förångas. Påföringshastigheten i ett tvärsnitt av strålen eller sprayen från skärsläckaren är mycket högre än vad som enligt tidigare studier i praktiken både krävs och är optimalt vid släckinsatser mot bränsleytor. En extrapolering av grafen i diagram 12 ger att kritisk nivå för påföringshastigheten inträffar först efter ungefär 10 meter från munstycket. Således är påföringshastigheten mer än tillräcklig vid vertikal användning. Det som kan vålla problem är den lilla arean hos strålen, ungefär 0,2 m² vid 3 meter från munstycket, som gör att bränsleytan i princip måste lokaliseras för att kunna nås.

Penetreringstid

- Penetrationstiden ökar med tjocklek och densitet hos konstruktionen
- Penetrationstiden är beroende av materialets sammansättning, ådring, inblandning av makadam, porer etc.
- Penetrationstiden är i vissa fall direkt kopplat till handhavandet

Vattenstrålens uppbrott

- Uppbrott sker vid cirka 5 meter från munstycket för samtliga försök
- Vattenstrålen är väl samlad efter genomslag av provkropp vid samtliga försök
- Referensförsök utan provkropp visar på samma beteende hos vattenstrålen
- Vattenstrålens uppbrott är oberoende av provkropp som penetreras

Släckverkan

- För att erhålla god släckverkan bör vattnet förångas för att reducera koncentrationen av pyrolysgaser och syre, samt hållas kvar i brandrummet
- Skärsläckarens släckeffekt är förmodligen begränsad i välventilerade utrymmen, samt då vattnet inte kan förångas

Figur 10. Sammanfattande slutsatser

6.4 Tillförlitlighet för beräknade värden

Tillförlitligheten för de beräknade egenskaperna i sprayen är svår att bedöma. Den enda konkreta sammankoppling mellan beräknat och verkligt värde som kan göras är att jämföra den beräknade tvärsnittsarean med den observerade. Precis vid uppbrottet överskattar beräkningarna tvärsnittsarean med ungefär 30 %. Detta kan möjligen förklaras av att det beräknade värdet förutsätter att strålen brutit upp vid 5 m från munstycket, detta gäller inte för alla försök och därför blir beräkningarna missvisande. Efter 5,5 m, där strålen brutit upp i alla försök, ligger det beräknade värdet inom 5 % ifrån det observerade. Detta får anses vara en mycket god approximation för experimentella försök. Beräkningen av tvärsnittsarean bygger på en god uppskattning av massflödet luft, vilket i sin tur ligger till grund för alla de beräknade egenskaperna i sprayen. Detta tyder på att de värden som presenterats ger en inte helt felaktig bild av verkligheten.

6.5 Förslag till fortsatt forskning

Den forskning som tidigare bedrivits inom området skärsläckning är relativt begränsad. De studier som genomförts har främst fokuserat på att belysa skärsläckarens förmåga att sänka temperaturen i brandrummet. I ett flertal av försöken har rumsgeometrin varit av sådan art att vattenstrålen tillåts bryta upp fullt ut. Då skärsläckarens konstruktion i dag inte tillåter att operatören kan reglera vattenstrålens uppbrott, kan det vara av intresse att studera släckverkan i ett brandrum som medför att ett fullständigt uppbrott ej sker. Då vattenstrålens uppbrott kan vara av stor betydelse för släckinsatsen, samt även ur andra aspekter som räddningsmanskapets säkerhet, finns det ytterligare områden att studera. Hur kan skärsläckaren som verktyg utvecklas för att ge möjligheter för operatören att reglera uppbrottet?

I underökningen har vattendimmans hastighet och geometri studerats i syfte att erhålla underlag för att teoretiskt beräkna släckverkan. Studiens empiriska data har analyserats m.h.a. ett bildredigeringsprogram (Video ReDo Plus) som ger möjlighet att studera 25 bildsekvenser per sekund. Innan undersökningen genomfördes fanns inga forskningsstudier som redogjorde för vattendimmans hastighet och struktur. Genom att använda annan teknisk mätutrustning som t.ex. höghastighetskamera som genererar fler bilder per sekund, bör vattendimmans struktur och rörelse kunna dokumenteras med en större noggrannhet. Tekniken skulle även ge möjlighet till en djupare förståelse för vattendropparnas storlek och sammansättning i vattendimman, vilket är av avgörande betydelse för släckegenskaperna.

Referenser

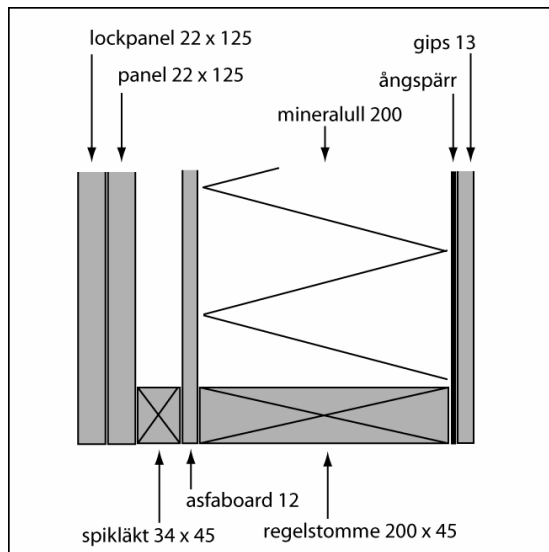
- Andersson, P., & Holmstedt, G. (1997). *Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik.
- Arvidson, M., & Hertzberg, T. (2001). *Släcksystem med vattendimma – en kunskapssammanställning*. Borås: SP Sveriges Forsknings- och institut, Brandforsk projekt 509-991.
- Backman, J. (1998). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur.
- Bobert, M. (2002) *Släckförsök med skärsläckare i ett 500 m³ försöksrum*. Borås: SP Sveriges Forsknings- och institut.
- Carlsén, T., & Winkler, H. (2000). *Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik.
- Dahlén, S. (2002). Skärsläckaren - inte färdigutvecklad. *Sirenen*, nr 3, s 5.
- Dahlén, S. (2006). Rökdykning som släckmetod fasas ut på sikt. *Sirenen*, nr 5, s 6.
- Ejvegård, R. (2003). *Vetenskapliga metoder*. Lund: Studentlitteratur.
- Fredäng, A., & Hermansson, J. (1999). *Pilotskydd vid brand – utveckling och utredning*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik.
- Holme, I., & Solvang, B. (1997). *Forskningsmetodik – om kvalitativa och kvantitativa metoder*. Lund: Studentlitteratur.
- Ingason et al. (2004). *Övertrycksventilation kombinerad med skärsläckare*. Borås: SP Sveriges Forsknings- och institut.
- Ivansson, G. (2003). Viktigt att skärsläckaren kommer in i utbildningen. *Sirenen*, nr 5, s 12.
- Larsson, M., & Weserlund, J. (2006). *Högtrycksbrandsläckning – ett beslutsunderlag för räddningstjänsten*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik.
- Lundström, S., & Svensson, S. (1997). *Försök med högtrycksbrandsläckning*. Karlstad: Räddningsverket.
- Palmkvist, K. (2006). *Databank – insats med skärsläckare/Cobra metoden*. Borås: Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund.

- Patel, R., & Davidson, B. (1994). *Forskningsmetodikens grunder – att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Lund: Studentlitteratur.
- Persson, P-E. (2003). Kalla snitt med strålände metod. *Uppfinnaren & Konstruktören*, nr 2, s 16-17.
- Räddningsverket. (2000). *Skärsläckaren – tillkomst och utveckling*. Karlstad: Räddningsverket.
- Soroczynski, R. (2006). *Skärsläckaren*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för sjöfart och marin teknik.
- Srålbrand, K. (2006). Pionjären – Kaare Brandsjö. *Räddningsledaren*, nr 3, s 19.
- Srålbrand, K. (2005). Framskjuten enhet – modellen för framtiden. *Räddningsledaren*, nr 4, s 22-23.
- Särdqvist, S. (2002). *Vatten och andra släckmedel*. Karlstad: Räddningsverket.
- Särdqvist, S., & Holmstedt, G. (2000). *Water for Manual Fire Supression*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för brandteknik.
- Thurén, T. (1993). *Vetenskapsteori för nybörjare*. Stockholm: Runa förlag.
- Wiedersheim-Paul, F., & Eriksson, L-E. (1999). *Att utreda, forska och rapportera*. Malmö: Liber ekonomi.

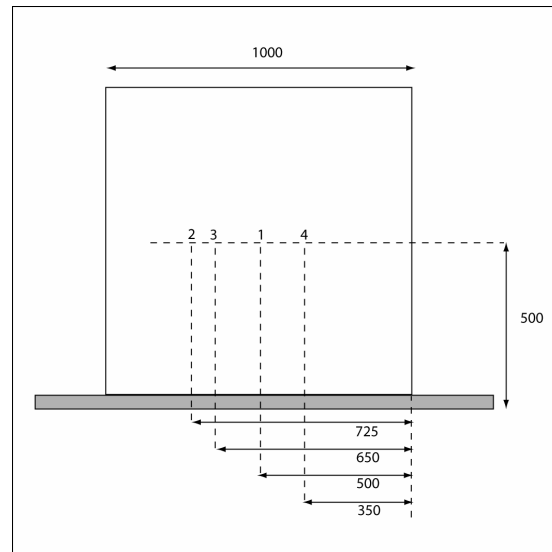
Bilaga A – Provkroppar

Nedan presenteras samtliga provkroppar som användes under försöken. I de figurer som visar ett horisontellt tvärsnitt sattes skärsläckaren alltid in från vänster i bilden. I de figurer som visar sidan som vetter mot skärsläckaren, representerar siffrorna placeringen av ingångshålet för vattenstrålen i respektive försök. Alla måttangivelser är i mm.

Prov 1: Träpanelvägg

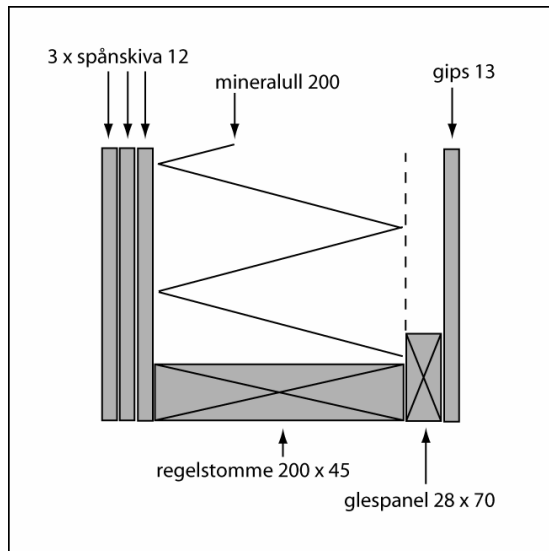


Figur A1. Horisontellt tvärsnitt

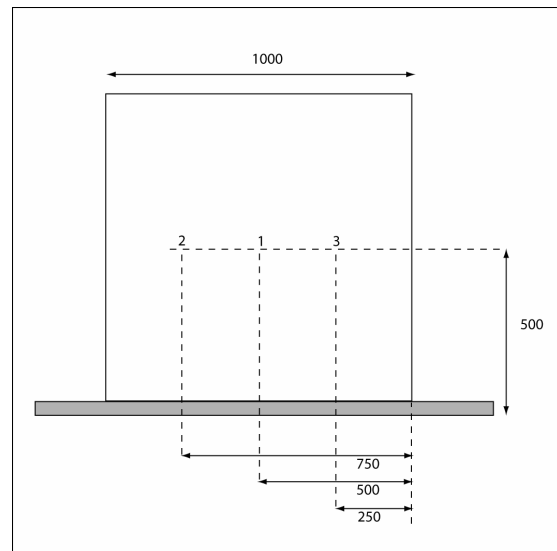


Figur A2. Sida mot skärsläckaren

Prov 2: Träbjälklag

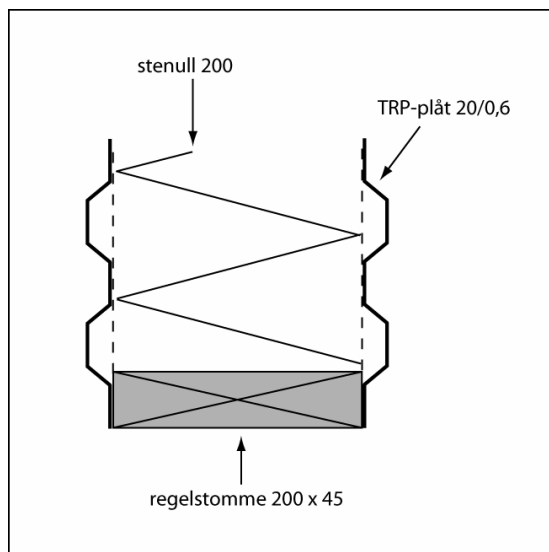


Figur A3. Horisontellt tvärsnitt

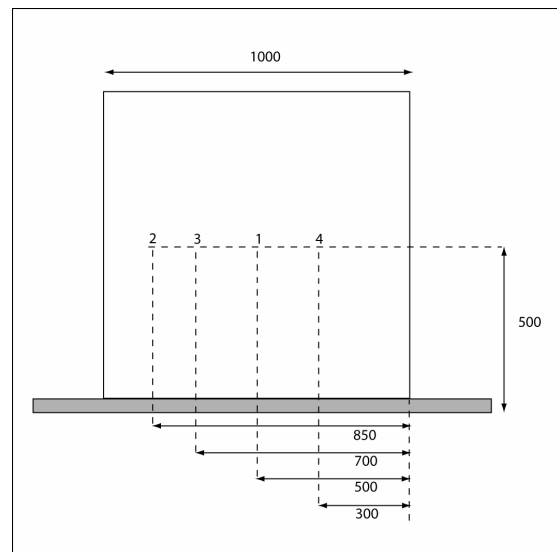


Figur A4. Sida mot skärsläckaren

Prov 3: Industrivägg

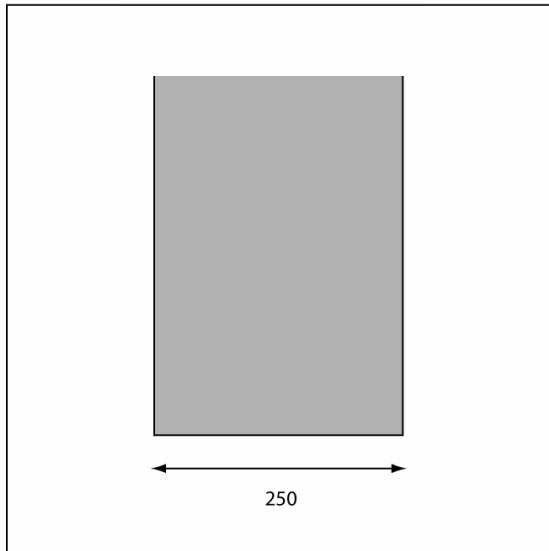


Figur A5. Horisontellt tvärsnitt

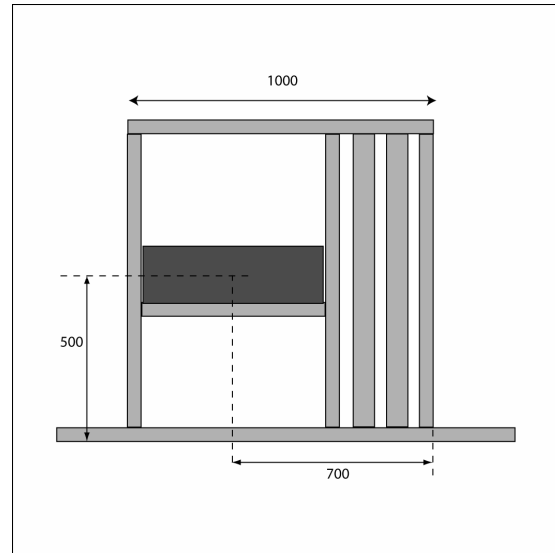


Figur A6. Sida mot skärsläckaren

Prov 4: Lättklinkerblock



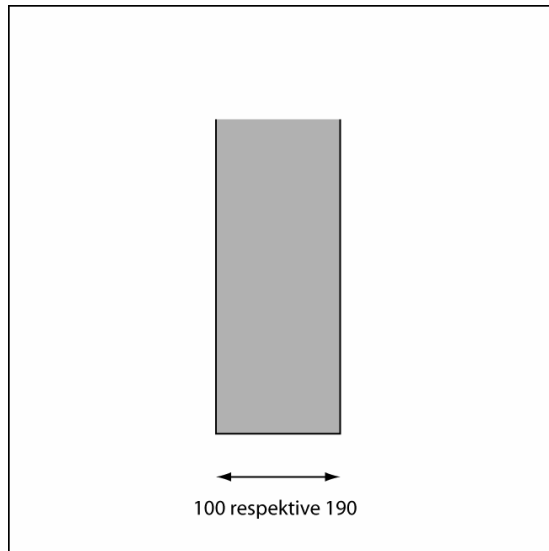
Figur A7. Horisontellt tvärsnitt



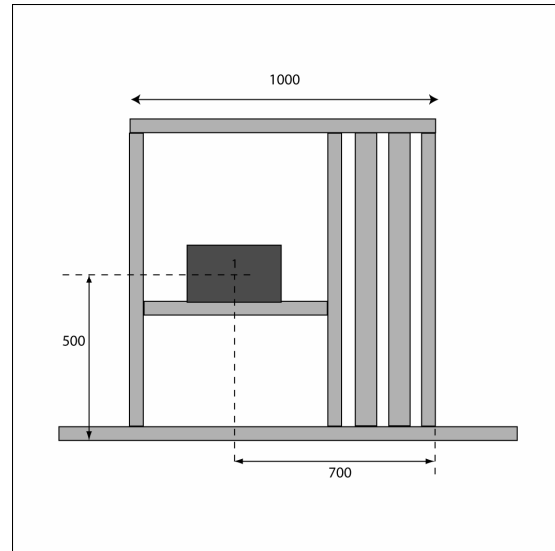
Figur A8. Sida mot skärsläckaren

För varje försök användes ett nytt lättklinkerblock.

Prov 5 & 6: Betongblock, tjocklek 100 respektive 190 mm



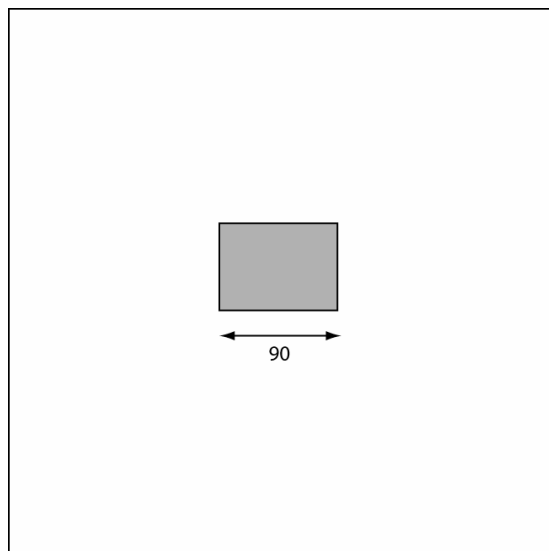
Figur A9. Horisontellt tvärsnitt



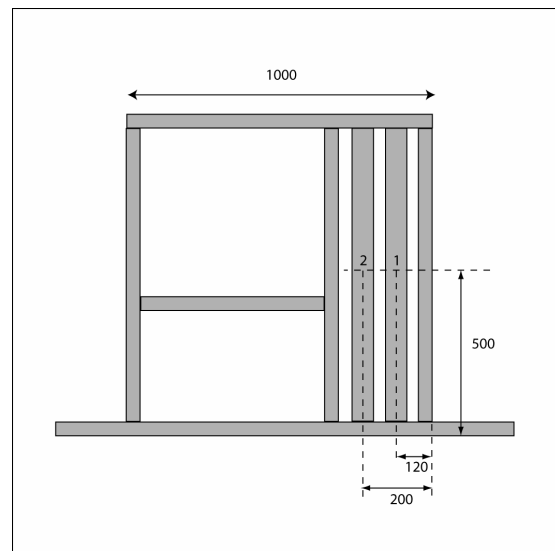
Figur A10. Sida mot skärsläckaren

För varje försök användes ett nytt betongblock.

Prov 7: Träregel



Figur A11. Horisontellt tvärsnitt



Figur A12. Sida mot skärsläckaren

Bilaga B – Nomenklatur

m_v = massa vatten (kg)

m_g = massa brandgaser (kg)

c_{pvv} = värmekapacitivitet för vatten i vätskeform = $4,18 \times 10^3$ (J / kgK)

c_{pvg} = värmekapacitivitet för vatten i gasform (J / kgK)

c_{pg} = värmekapacitivitet för luft (J / kgK)

ΔH_v = förångningsvärmets för vatten = 2260×10^3 (J / kg)

ρ_g = densitet för luft (kg / m³)

V_g = volym brandgaser (m³)

t = tid (s)

Regressionsanalys ger följande värden för de konstanter som används vid beräkningar kring brandgaskylning (se sidan C7):

$a = 0,6459$ (J/kgK²)

$b = 1636,6$ (J/kgK)

$c = 350,39$ (kgK/m³)

$k = 0,2104$ (J/kgK²)

$n = 928,79$ (J/kgK)

Bilaga C – Beräkningar

Hastighet vid munstycke

Vattnets hastighet vid munstycket kan beräknas genom att tillämpa Bernoullis ekvation. För att ta hänsyn till friktionsförluster adderas termen, ΔP_f , till högerledet.

$$P_s + \frac{\rho_v v_s^2}{2} + \rho_v g h_s = P_m + \frac{\rho_v v_m^2}{2} + \rho_v g h_m + \Delta P_f$$

Index (s) och (m) refererar till slangens inlopp respektive en punkt där vattnet precis lämnat munstycket. Eftersom eventuella höjdskillnader mellan slanginlopp och munstycke ger en försumbar tryckdifferens kan uttrycket skrivas om som:

$$v_m^2 - v_s^2 = \frac{2}{\rho_v} (P_s - P_m - \Delta P_f)$$

Då massflödet av vatten är konstant genom systemet innebär en minskning av tvärsnittsarean för flödet en proportionell hastighetsökning. Vid försöken användes en slang med diameter $\frac{1}{2}$ tum och en munstycksdiameter på 2,1 mm. Detta ger att tvärsnittsarean är ungefär 37 ggr större i slangens än vid munstycket, vilket leder till att följande förenkling kan göras:

$$v_m^2 - v_s^2 = v_m^2 - \left(\frac{v_m}{37}\right)^2 = v_m^2 \left(1 - \frac{1}{37^2}\right) \approx v_m^2$$

Vattnets hastighet vid munstycket kan således beräknas enligt approximationen:

$$v_m \approx \sqrt{\frac{2(P_s - P_m - \Delta P_f)}{\rho_v}}$$

Tryckdifferensen $P_s - P_m$ är lika med det övertryck som levereras från pumpen, d v s 280 bar, då det statiska trycket precis utanför munstycket är detsamma som atmosfärstrycket. Tryckförlusten på grund av friktion, ΔP_f , beräknas som produkten av tryckfall per meter slang, 0,4 (bar/m), och den totala slanglängden, 65 m.

$$v_m \approx \sqrt{\frac{2(280 - 0,4 \times 65) \times 10^5 \text{ [Pa]}}{1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}}} \approx 225 \text{ [m/s]}$$

Volym- och massflöde vatten

Volymflödet av vatten är liksom massflödet konstant genom systemet eftersom vatten är en inkompressibel fluid, d.v.s. densiteten är i princip oberoende av trycket. Vattnets volymflöde vid munstycket kan beräknas som produkten av flödets tvärsnittsarea, flödeshastigheten och en kontraktionsfaktor. På grund av randeffekter vid munstyckets utlopp kommer flödets faktiska tvärsnittsarea vara mindre än hålarean i munstycket. Kontraktionsfaktorn, C , beskriver flödets faktiska tvärsnittsarea som en andel av hålarean i munstycket. Vid tidigare försök med skärsläckare med liknande munstycksdiameter har kontraktionsfaktorn varit ungefär 0,83 (Räddningsverket, 2000). Vid beräkningar har samma värde på kontraktionsfaktorn använts, vilket ger att volymflödet av vatten kan skrivas som:

$$\dot{Q}_v = A_m \times v_m \times C$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_v = \pi \times (1,05 \times 10^{-3})^2 [m^2] \times 225 [m/s] \times 0,83 \approx 6,47 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_v = 6,47 \times 10^{-4} [m^3/s] \times 1000 [l/m^3] \times 60 [s/min] \approx 39 [l/min]$$

Ett volymflöde på 39 (l/min) stämmer väl överens med det värde som CCS anger för aktuellt tryck för respektive munstycksdiameter.

Massflödet vatten fås genom att multiplicera volymflödet med densiteten för vatten.

$$\dot{m}_v = \dot{Q}_v \times \rho_v$$

$$\Rightarrow \dot{m}_v = 6,47 \times 10^{-4} [m^3/s] \times 1000 [kg/m^3] \approx 0,65 [kg/s]$$

Rörelsemängd

Vattnets rörelsemängd vid munstycket är produkten av dess massa och hastighet. Denna rörelsemängd kommer successivt att överföras till den luft som sugas in i strålen efterhand som strålens tvärsnittsarea ökar. Enligt lagen om rörelsemängdens bevarande kommer den sammanlagda rörelsemängden hos vattendropparna och hos luften som sätts i rörelse att vara konstant. Vid munstycket rör sig vattnet i samma riktning som lansen, men då strålen bryter upp kommer vattendropparna även att färdas i andra riktningar. Om lansen riktning sätts till x-led och riktningen vinkelrätt mot lansen till y-led, innebär detta att endast en del av den initiala rörelsemängden kommer att överföras i x-led.

Den genomsnittliga spridningsvinkeln för strålen mellan 0 och 8 meter är ungefär 7°. Om det efter att strålen har brutit upp antas att massan vatten fördelas jämnt över alla

riktningar mellan x-axeln och spridningsvinkeln och att hastigheten är lika stor i alla riktningar mellan x-axeln och spridningsvinkeln, samt att strålen är rotationssymmetrisk kring x-axeln, kan en överslagsberäkning av den rörelsemängd som överförs i x-led göras.

Eftersom vattenhastigheten, v , antas vara lika stor i alla riktningar gäller då följande i en godtycklig riktning. Riktningen ges av vinkeln β , där $0 \leq \beta \leq 7^\circ$. Hastighetsvektorn $\bar{v}$ i den godtyckliga riktningen sätts som enhetsvektor, d.v.s. den ges längden 1. Vektorn $\bar{v}$ kan vidare delas upp i en x- och en y-komponent, $\bar{v}_x$ respektive $\bar{v}_y$. Då $\bar{v}$ är enhetsvektor får $\bar{v}_x$ längden $\cos \beta$ och $\bar{v}_y$ längden $\sin \beta$, se figur C1.



Figur C1. Hastighetsvektorer

Även rörelsemängden kan nu delas upp i komponenter:

$$\bar{I} = \bar{I}_x + \bar{I}_y = m\bar{v}_x + m\bar{v}_y$$

Den del av rörelsemängden som överförs i x-led ges av:

$$\frac{|\bar{I}_x|}{|\bar{I}_x| + |\bar{I}_y|} = \frac{|m\bar{v}_x|}{|m\bar{v}_x| + |m\bar{v}_y|} = \frac{|\bar{v}_x|}{|\bar{v}_x| + |\bar{v}_y|} = \frac{\cos \beta}{\cos \beta + \sin \beta}$$

Då β varieras från 0° till 7° kan denna kvot stängas in i intervallet:

$$1 \geq \frac{\cos \beta}{\cos \beta + \sin \beta} \geq 0,89$$

Vilket ger att den andel av den totala rörelsemängden, i alla riktningar, som överförs i x-led ligger inom samma intervall.

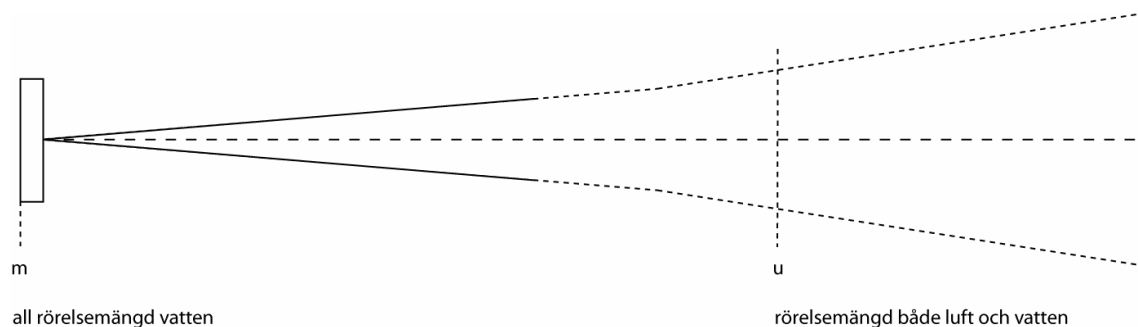
Resultaten från de försök som genomförts visar att när vattenstrålen väl penetrerat provkroppen är vattnet i strålen mycket samlat efter utgångshålet. En jämförelse mellan referensförsöket, där ingen provkropp penetrerades, och övriga försök visar ingen

märkbar skillnad på vattenstrålens utseende i närheten av utgångshålet. Mot bakgrund av detta anses det rimligt att anta att vattenstrålens förlust i rörelsemängd till provkroppen är försumbar när denna väl penetrerats.

Med de antagande som gjorts är det alltså rimligt att anta att ungefär 90 % av den initiala rörelsemängden överförs i x-led.

Massflöde luft

Betrakta två tvärsnitt av strålen vid punkterna m och u , där m representerar mynningen av munstycket och u en punkt efter strålens uppbrott där luften antas ha accelererats till samma hastighet som vattnet. Vid punkten m består tvärsnittet endast av vatten och ingen rörelsemängd har överförts till luften. Vid punkten u består tvärsnittet av både luft och vatten och en del av rörelsemängden har överförts till luften, se figur C2.



Figur C2. Rörelsemängd för vatten respektive vatten och luft

Enligt lagen om rörelsemängdens bevarande och antagandet att 90 % av rörelsemängden överförs i x-led gäller då sambandet:

$$I_{ux} = 0,90I_m \quad , \text{ där } I_{ux} = \text{rörelsemängden i x-led i tvärsnittet u}$$

$$I_m = \text{den initiala rörelsemängden}$$

Tidsderivatan av rörelsemängden i ett tvärsnitt av sprayen där hastigheten är konstant över tiden ges av:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d(m \times v)}{dt} = \frac{dm}{dt} \times v + m \times \frac{dv}{dt} \quad , \frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{dm}{dt} \times v = \dot{m} \times v$$

Om det antas att hastigheten i sprayen är konstant över tiden gäller då att:

$$\frac{dI_{ux}}{dt} = \frac{0,90dI_m}{dt} \Rightarrow \dot{m}_v \times v_{vx} + \dot{m}_l \times v_{lx} = 0,90 \dot{m}_v \times v_m$$

, där $\dot{m}_v$ = massflödet vatten

$\dot{m}_l$ = massflödet luft i tvärsnittet u

v_{vx} = vattenhastigheten i x-led i tvärsnittet u

v_{lx} = lufthastigheten i x-led i tvärsnittet u

v_m = vattenhastigheten vid munstycket

Det tidigare antagandet att luften har samma hastighet som vattnet efter uppbrottet förenklar uttrycket något och massflödet luft kan skrivas som:

$$\dot{m}_v \times v_{vx} + \dot{m}_l \times v_{lx} = 0,90 \dot{m}_v \times v_m \quad , \quad v_{lx} = v_{vx} \Rightarrow v_{vx} (\dot{m}_v + \dot{m}_l) = 0,90 \dot{m}_v \times v_m$$

$$\Rightarrow \dot{m}_l = \frac{0,90 \dot{m}_v \times v_m}{v_{vx}} - \dot{m}_v \Rightarrow \dot{m}_l = \dot{m}_v \left(\frac{0,90 v_m}{v_{vx}} - 1 \right)$$

Analys av försöksresultaten visar att medelhastigheten för vattendropparna i x-led på ett avstånd av 4 till 8 meter från munstycket kan approximeras med uttrycket:

$$v_{vx}(x) \approx -1,6x + 19 \quad , \quad 4 \leq x \leq 8$$

, där x är avståndet från munstycket i meter.

Detta ger att massflödet luft i ett givet tvärsnitt efter strålens uppbrott kan approximeras som en funktion av avståndet till munstycket enligt:

$$\dot{m}_l(x) \approx \dot{m}_v \left[\text{kg} / \text{s} \right] \times \left(\frac{0,90 v_m [\text{m} / \text{s}]}{(-1,6x + 19) [\text{m} / \text{s}]} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_l(x) \approx \dot{m}_v \times \left(\frac{0,90 v_m}{(-1,6x + 19)} - 1 \right) \quad [\text{kg} / \text{s}]$$

Volymflöde luft

Volymflödet luft över ett tvärsnitt av strålen kan beräknas som kvoten av massflödet och densiteten för luft. Det empiriska uttrycket för massflödet luft som en funktion av avståndet från munstycket ger att volymflödet luft efter uppbrottet kan beräknas som:

$$\dot{Q}_l = \frac{\dot{m}_l}{\rho_l} \frac{[kg/s]}{[kg/m^3]} \Rightarrow \dot{Q}_l(x) \approx \frac{\dot{m}_v}{1,2} \times \left(\frac{0,90v_m}{(-1,6x+19)} - 1 \right) [m^3/s]$$

Area stråle

Då volymflödet vatten i strålen, efter att denna har brutit upp, är försumbart i jämförelse med volymflödet luft, kan strålens tvärsnittsarea beräknas som kvoten av volymflödet luft och lufthastigheten i x-led.

$$A = \frac{\dot{Q}_l}{v_{lx}}, v_{lx} = v_{vx} \Rightarrow A = \frac{\dot{Q}_l}{v_{vx}} \frac{[m^3/s]}{[m/s]}$$

$$\Rightarrow A(x) \approx \frac{\dot{m}_v}{1,2 \times (-1,6x+19)} \times \left(\frac{0,90v_m}{(-1,6x+19)} - 1 \right) [m^2]$$

Vatteninnehåll i stråle

Vatteninnehållet i ett tvärsnitt av strålen i (kg/m³) fås genom att dividera massflödet vatten med volymflödet luft.

$$\phi = \frac{\dot{m}_v}{\dot{Q}_l} \frac{[kg/s]}{[m^3/s]} \Rightarrow \phi(x) \approx \frac{\dot{m}_v}{\frac{\dot{m}_v}{1,2} \times \left(\frac{0,90v_m}{(-1,6x+19)} - 1 \right)}$$

$$\Rightarrow \phi(x) \approx \frac{1,2}{\left(\frac{v_m}{(-1,6x+19)} - 1 \right)} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Beräkningar kring brandgaskylning

Om det antas att allt vatten i strålen förångas av brandgaserna kan följande energibalans ställas upp:

$$m_v \left(\int_{293}^{373} c_{pvv} dT + \Delta H_v + \int_{373}^{T_{gs}} c_{pvg} dT \right) = m_g \int_{T_{gs}}^{T_{gi}} c_{pg} dT$$

då c_{pvv} kan anses vara konstant i intervallet 293-373 (K), ΔT , och $m = \rho V$

$$\Rightarrow m_v \left(c_{pvv} \Delta T + \Delta H_v + \int_{373}^{T_{gs}} c_{pvg} dT \right) = V_g \int_{T_{gs}}^{T_{gi}} \rho_g c_{pg} dT$$

Värmekapacitiveteten för vattenånga och för luft kan anses vara linjära funktioner av temperaturen och densiteten för luft är omvänt proportionell mot temperaturen. Eftersom brandgaserna till största del består av luft gör detta att följande uttryck kan användas, där a , b , c , k och n är konstanter (se sidan B1).

$$c_{pvg}(T) \approx aT + b \quad , \quad c_{pg}(T) \approx kT + n \quad , \quad \rho_g(T) = \frac{c}{T}$$

Insättning av värmekapacitet och densitet som funktioner av temperaturen ger att energibalansen kan skrivas som:

$$m_v \left(c_{pvv} \Delta T + \Delta H_v + \int_{373}^{T_{gs}} (aT + b) dT \right) = V_g \int_{T_{gs}}^{T_{gi}} \frac{c}{T} (kT + n) dT$$

$$\Rightarrow m_v \left(c_{pvv} \Delta T + \Delta H_v + \left[\frac{a}{2} T^2 + bT \right]_{373}^{T_{gs}} \right) = V_g c \left[\ln(T)(kT + n) - k(T \ln(T) - T) \right]_{T_{gs}}^{T_{gi}}$$

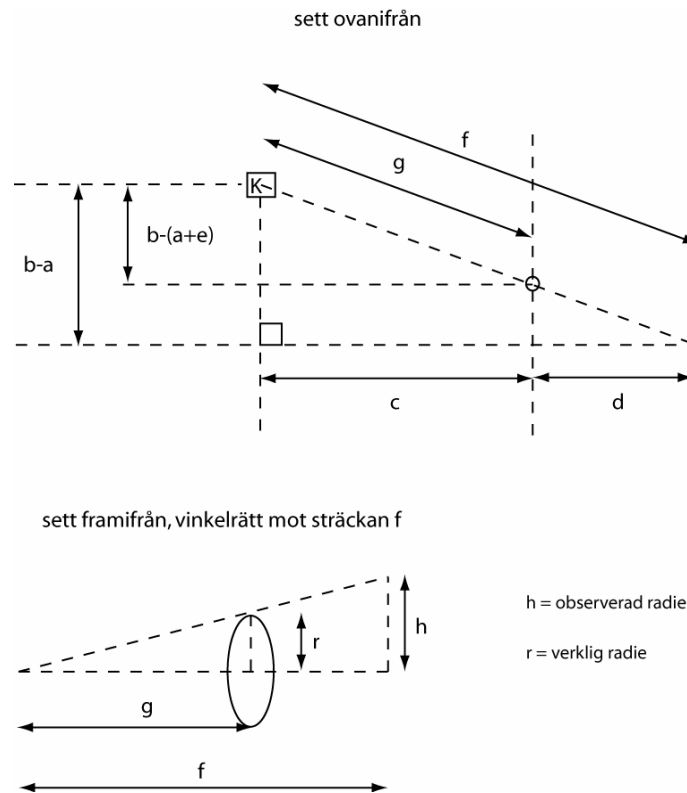
då massflödet vatten är konstant över tid, $\dot{m}_v = \frac{\Delta m_v}{\Delta t}$, kan energibalansen skrivas som:

$$\Rightarrow \dot{m}_v \Delta t \left(c_{pvv} \Delta T + \Delta H_v + \left[\frac{a}{2} T^2 + bT \right]_{373}^{T_{gs}} \right) = \Delta V_g c \left[\ln(T)(kT + n) - k(T \ln(T) - T) \right]_{T_{gs}}^{T_{gi}}$$

vilket ger att Δt och $\frac{\Delta V_g}{\Delta t}$ kan lösas ut.

Beräkning av vattenstrålens radie

Beräkning av vattenstrålens radie har utförts enligt samma princip som ovan. I figur C4 är den övre triangeln identisk med den i figur C3. Den undre triangeln visar ett tvärsnitt av strålen sett snett framifrån vinkelrätt mot sträckan f.



Figur C4. Beräkning av vattenstrålens radie

Ett tillräckligt noggrant värde för strålens radie fås genom trigonometri:

$$f = \sqrt{(b-a)^2 + (c+d)^2} \quad , \quad g = \sqrt{(b-(a+e))^2 + c^2}$$

$$\frac{r}{g} = \frac{h}{f} \Rightarrow r = \frac{gh}{f}$$