

# Högtrycksbrandsläckning

- Ett beslutsunderlag för  
Räddningstjänsten

*Mattias Larsson*  
*Johan Westerlund*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 5184, Lund 2006



**Högtrycksbrandsläckning**  
**- Ett beslutsunderlag för Räddningstjänsten**

**Mattias Larsson**  
**Johan Westerlund**

**Lund 2006**

**Titel/Title**

Högtrycksbrandsläckning – Ett beslutsunderlag för Räddningstjänsten  
High-Pressure fire fighting – basic decision data for the fire service

**Författare/Authors**

Mattias Larsson & Johan Westerlund

**Report 5184**

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5184--SE

Antal sidor/Number of pages: 145

Bilder/Illustrations: 105

**Keywords**

High pressure, hosereel, fire fighting, fog nozzle, rescue service

**Sökord**

Högtryck, centrumrulle, brandsläckning, strålrör, räddningstjänst

**Abstract**

The purpose of this report is to collect, compile and complement the scientific and experience based knowledge concerning high pressure fire fighting today. The goal is to produce a decision data for the Rescue Service concerning the use of high pressure systems for fire fighting. Focus is on hose reel high pressure systems but other systems are discussed too. The report begins by describing the technical properties of the different systems. Then the fire fighting properties are evaluated, including manoeuvrability and safety for users. There is a brief chapter describing economy related to the different types of systems. Technical and non-technical aspects of high pressure fire fighting are finally discussed and together with the rest of the report are basis for a number of conclusions drawn. One of the conclusions is that the foremost advantage using 40 bars high pressure systems are shorter time of attack and reduced use of water.

**Language**

Swedish

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2006.

Författarna svarar för innehållet i rapporten.

The authors are responsible for the contents of this report.

---

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

---

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

### Sammanfattning

Brandsläckning med högtryckssystem har börjat återinföras bland Sveriges räddningstjänster. Med *lågtryckssystem* menas system som arbetar med ett tryck från pumpen på upp till 20 bar och med *högtryckssystem* menas system som arbetar med 20 bar och däröver. Vid behov namnges systemen även efter det tryck de använder, exempelvis 40 bars högtryck eller 250 bars högtryck. Kunskapen kring dessa system varierar bland Sveriges räddningstjänster då den inte sprids på ett adekvat sätt men också då den i vissa fall är bristande eller obefintlig.

Den 12:e december 2005 fanns det i Sverige 21 räddningstjänster/-förbund som använde 40 bars högtryckssystem och sju räddningstjänster/-förbund som använder annat högtryckssystem (skärsläckaren ej inräknad). Svarsfrekvensen i undersökningen var 140 av 203 tillfrågade.

Syftet med denna rapport är att samla upp, sammanställa och komplettera den vetenskapliga och erfarenhetsmässiga kunskapen som i dagsläget finns kring högtrycksbrandsläckning. Målet är att skapa ett beslutsunderlag för räddningstjänsten angående nyttjandet av högtrycksbrandsläckning. Dels för räddningsledaren som på skadeplats ska ta beslut om användning av högtryck eller inte och dels för förvaltningsledningen som tar beslut om inköp av fordon med eller utan högtryckssystem.

De informationskällor som har använts är litteratur, enkäter, studiebesök och egna mätningar. Ett flertal slutsatser av varierande dignitet dras i rapporten. De som av författarna bedöms som viktigast är följande:

- 40 bars högtryckssystem kan användas mot grovt sett 9 av 10 insatser och förefaller lämpligt för invändig släckning under skyddsnivån rökdykning.
- De främsta fördelarna hos 40 bars högtryckssystem är kortare angreppstid och minskad vattenanvändning.
- Övriga högtryckssystem har som huvudsakliga fördelar att de är mindre och därför får plats i mindre fordon.
- Största nackdelarna med högtryckssystemen generellt är att de inte är utbyggbara där detta krävs, samt att flödet blir begränsande.
- Högtryckssystem ska alltid ses som *komplement* till konventionella lågtryckssystem.
- Vid användande av högtryckssläckning är det viktigt att utrustningen används i hög utsträckning för att säkerställa att användarnas kompetens upprätthålls. Med andra ord, ”gör en ordentlig satsning på högtrycksbrandsläckning eller gör ingen satsning alls”.



## Summary

Fire fighting using high pressure systems has been reintroduced among Rescue Services in Sweden. With *low pressure system* a system operating at a pump pressure of up to 20 bar is intended and with *high pressure system* a system operating at more than 20 bar is intended. When necessary, systems are named after the specific pump pressure they are using, for instance 40 bars high pressure, and 250 bars high pressure.

The knowledge about these systems varies among the Rescue Services in Sweden since it is not spread in an adequate manner and in some cases insufficient or non-existent.

On the 12:th of December 2005 there were 21 Rescue Services using 40 bars hose reel systems and seven Rescue Services using other type of high pressure systems (cutting extinguisher not included). Response frequency in the survey was 140 out of 203.

The purpose of this report is to collect, compile and complement the scientific and experience based knowledge concerning high pressure fire fighting today. The goal is to produce a decision data for the Rescue Service concerning the use of high pressure systems for fire fighting. Both for the commanding fire officer on scene of accident whether to use high pressure systems or not, and also for the administration deciding whether to buy a vehicle with or without a high pressure system.

The sources of information that have been used are literature, field visits, questionnaires and own measurements.

A number of conclusions of varying dignity are drawn in the report. The ones considered most important by the authors are the following:

- 40 bars high pressure systems can be used against roughly 9 out of 10 fire fighting operations and seems to be appropriate for internal extinguishing (3-D fire fighting).
- The foremost advantages with 40 bars high pressure systems are shorter time of attack and reduced use of water.
- Other high pressure systems have as main advantages that they are smaller and due to that they fit into smaller vehicles.
- Greatest disadvantages with high pressure generally are that they are not expandable when this is needed, and that the flow of water is limiting.
- High pressure systems shall always be viewed upon as a *complement* to conventional low pressure systems.
- When implementing high pressure fire fighting systems it is important that the equipment is used in a high degree in order to make sure that the competence of the users is maintained. In other words: “make a thorough investment in high pressure fire fighting, or don’t do it at all”.

### **Förord**

Detta arbete har varit en fröjd att göra. En starkt bidragande orsak till detta är att vi haft mycket trevliga, inspirerande och tillmötesgående personer kring oss under arbetets gång. Utan dessa hade arbetet med rapporten garanterat inte varit lika roligt och rapporten hade heller inte blivit lika bra och den skulle ha saknat en nära koppling till vardagen på räddningstjänsten, något som vi nu vågar påstå att den har. Bland annat dessa personer förtjänar att nämnas vid namn:

Stefan Svensson, Teknologie Doktor vid Räddningsverkets skola i Revinge och handledare. Ett kunnigt stöd både kring de praktiska försöken och kring de teoretiska och tekniska resonemangen.

Robert Jönsson, Avdelningschef på Brandteknik, LTH och Brandtekniks handledare. Bollplank och kontaktförmedlare.

Ulf Bergh, brandmästare Räddningstjänsten Landskrona. Inspirationskälla och medarbetare.

Stefan Särdaqvist, Teknologie Doktor vid Räddningsverkets skola i Revinge. Flitigast refererad i arbetet och mycket sakkunnigt bollplank.

Magnus Mattson, brandingenjör Brandväsendet Storköpenhamn. Tog sig tid att delge oss erfarenheterna från andra sidan sundet.

Henry Persson, SP Brandteknik i Borås. Ställde upp helhjärtat och hjälpte oss i mätningarna av strålbilder.

Klasskamraterna Robert Erdeniz och Per Hultman för hjälp med dokumentation vid försök ute på Revinge samt Christoffer Jansson för genomförd korrekturläsning.

Räddningstjänsten Landskrona förtjänar även de ett hedersomnämmande som förutom arbetstid och material ställt upp och lånat ut sin släckbil 401 för att köra upp till Borås och göra strålbildsförsök.

Räddningstjänsterna Södra Roslagens Brandförsvarsförbund och Södertörns brandförsvarsförbund för att dessa har erbjudit trevliga och givande studiebesök. Räddningstjänsterna i Gästrike, Jönköping, Storgöteborg och Landskrona för hjälp med att besvara enkäter.

Sen vi vill vi tacka alla de räddningstjänster som tagit sig tid att svara på våra mail angående nyttjandet av någon form av högtryckssystem. Svaren var så många så möjlighet fanns inte att svara per mail, men tack!

Utöver detta vill vi tacka alla er andra som inte omnämnts här, ni vet vilka ni är.

Mattias Larsson

Johan Westerlund

Lund, torsdag den 15 juni 2006



## Innehållsförteckning

<b>SYMBOLFÖRTECKNING</b>	<b>11</b>
<b>BILDFÖRTECKNING</b>	<b>11</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>2</b>
1.1 BAKGRUND TILL VAL AV ÄMNE	2
1.2 SYFTE	2
1.3 MÅL	2
1.4 MÅLGRUPP	2
1.5 AVGRÄNSNINGAR	2
1.6 PROBLEMFÖRMULERING	3
1.7 METOD	3
1.8 RAPPORTENS DISPOSITION	5
<b>2 HISTORIK OCH VART VI ÄR PÅ VÄG IDAG</b>	<b>6</b>
2.1 TIDIGARE ANVÄNDNING AV HÖGTRYCK	6
2.2 ANVÄNDNING AV HÖGTRYCK IDAG	7
2.3 SKRIVITS I SIRENEN	8
<b>3 TEKNISK PRESTANDA</b>	<b>12</b>
3.1 DEFINITIONER	12
3.2 TRYCKFALL	12
3.3 DROPPSTORLEK	17
3.4 KASTLÄNGD	19
3.5 EJEKTORVERKAN	20
3.6 REAKTIONSKRAFTER	21
3.7 STRÅLBILD	23
3.8 BERÄKNINGSEXEMPEL	27
3.9 SLUTSATSER TEKNISK PRESTANDA	28
<b>4 BRANDGASKYLNING</b>	<b>30</b>
4.1 GENOMFÖRDA FÖRSÖK	30
4.2 KOMMENTARER AV FÖRSÖKSRESULTAT	31
4.3 SLUTSATSER BRANDGASKYLNING	31
<b>5 FÖREBYGGANDE YTKYLNING</b>	<b>34</b>
5.1 MIKROSKALA	34
5.2 MAKROSKALA	35
5.3 SLUTSATSER FÖREBYGGANDE YTKYLNING	37
<b>6 DIREKT ANGREPP</b>	<b>38</b>

<b>6.1</b>	<b>DROPPSTORLEK</b>	<b>38</b>
<b>6.2</b>	<b>FLÖDET</b>	<b>39</b>
<b>6.3</b>	<b>TID TILL ANGREPP BÖRJAR</b>	<b>42</b>
<b>6.4</b>	<b>GENOMFÖRDA FÖRSÖK</b>	<b>43</b>
<b>6.5</b>	<b>SLUTSATSER DIREKT ANGREPP</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>SÄKERHET</b>	<b>46</b>
<b>7.1</b>	<b>RUTINER OCH GÄLLANDE RÖKDYKARREGLEMENTE</b>	<b>46</b>
<b>7.2</b>	<b>SÄKER TILLGÅNG TILL NÖDVÄNDIG MÄNGD VATTEN</b>	<b>48</b>
<b>7.3</b>	<b>VÄRMEGENOMSLAG VID ÅNGEXPANSION</b>	<b>49</b>
<b>7.4</b>	<b>SLUTSATSER SÄKERHET</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>HANTERBARHET</b>	<b>52</b>
<b>8.1</b>	<b>SLANGENS DIAMETER</b>	<b>52</b>
<b>8.2</b>	<b>SLANGTYP</b>	<b>53</b>
<b>8.3</b>	<b>SLANGLÄNGD</b>	<b>54</b>
<b>8.4</b>	<b>SLANGUTLÄGGNING</b>	<b>54</b>
<b>8.5</b>	<b>REAKTIONSKRAFTER</b>	<b>58</b>
<b>8.6</b>	<b>STRÅLRÖRETS UTFORMNING</b>	<b>59</b>
<b>8.7</b>	<b>STRÅLRÖRSARBETE</b>	<b>59</b>
<b>8.8</b>	<b>FORDONENS UTFORMNING</b>	<b>60</b>
<b>8.9</b>	<b>SLUTSATSER HANTERBARHET</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>EKONOMI</b>	<b>62</b>
<b>9.1</b>	<b>KOSTNADER</b>	<b>62</b>
<b>9.2</b>	<b>VINSTER</b>	<b>62</b>
<b>9.3</b>	<b>SLUTSATSER EKONOMI</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>64</b>
<b>10.1</b>	<b>TEKNISKA ASPEKTER</b>	<b>64</b>
<b>10.2</b>	<b>RÄDDNINGSTAKTISKA ASPEKTER</b>	<b>65</b>
<b>10.3</b>	<b>FÖRVALTNINGSMÄSSIGA ASPEKTER</b>	<b>68</b>
<b>10.4</b>	<b>SAMMANFATTNING DISKUSSION</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>71</b>
<b>11.1</b>	<b>VIKTIGASTE SLUTSATSER</b>	<b>73</b>
	<b>KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>75</b>
	<b>BILAGOR</b>	<b>79</b>

## Symbolförteckning

$p_f$  = [bar] tryckförlust  
 $p$  = [bar] strålrörstryck  
 $f$  = [-] friktionsfaktor  
 $L$  = [m] längd på rör/slang  
 $D$  = [m] diameter på rör  
 $v_r$  = [m/s] hastighet i rör/slang  
 $g$  = [9,81 m/s<sup>2</sup>] tyngdaccelerationen  
 $q$  = [l/min] flöde  
 $V_m$  = [mm/m<sup>2</sup>] medelvattentäthet  
 $V_{max}$  = [mm/m<sup>2</sup>] maximal vattentäthet i enskild mätpunkt  
 $l_{max}$  = [m] maximal kastlängd  
 $\alpha$  = [°] konvinkel  
 $l$  = [m] kastlängd  
 $v_0$  = [m/s] vattnets utgångshastighet  
 $z$  = [m] kashöjd  
 $\beta$  = [°] vinkel mellan strålen och marken  
 $R$  = [Newton] reaktionskraft  
 $\dot{m}$  = [kg/s] vattnets massflöde  
 $d_m$  = [m] diameter på rör  
 $A_m$  = [m<sup>2</sup>] munstyckets tvärsnittsarea  
 $c$  = [-] utströmningskonstant  
 $W_e$  = [-] Webers tal  
 $\rho_v$  = [kg/m<sup>3</sup>] vattnets densitet  
 $v_d$  = [m/s], droppens kollisionshastighet  
 $d_d$  = [m], droppens diameter  
 $\sigma$  = [N/m], vattnets ytspänning vid mättnadstemperaturen  
 $Q_v$  = [kW/m<sup>2</sup>], absorberad effekt per ytenhet.  
 $m_v$  = [kg/m<sup>2</sup>s], vattenflöde per ytenhet.  
 $c_{p,v}$  = [kJ/kg\*K], vattnets värmekapacitet.  
 $L_v$  = [kJ/kg], vattnets ångbildningevärme.  
 $T$  = [°C], vattnets temperatur.

## Bildförteckning

Bilder och illustrationer där inget annat anges: Johan Westerlund och Mattias Larsson.

Arvid Samuelsson: figur 3.

Stefan Särdaqvist, ur Särdaqvist 2002: figur 6, 10, 24.

Stefan Svensson: figur 11.

RIB:ens symbolbibliotek: figur 12, 31, 32 (modifierade av M. Larsson).

Per Hardestam, ur Särdaqvist 2002: figur 19, 20, 35.

Henrik Jaldell, ur Jaldell 2004: figur 30.

Ulf Bergh: figur 50.



## 1 INLEDNING

---

---

*I detta kapitel beskrivs bakgrunden till val av ämne, hur arbetet genomförts samt rapportens disposition och avgränsningar.*

---

---

### 1.1 Bakgrund till val av ämne

Brandsläckning med högtryckssystem har börjat återinföras bland Sveriges räddningstjänster. Dels införs 40 bars system med bland annat ett danskt system som förebild och dels införs system med högre tryck som är relativt oprövade. Genomgående gäller att kunskapen kring dessa system varierar bland Sveriges räddningstjänster på grund av att den inte sprids på ett adekvat sätt men också på grund av att den i vissa fall är bristande eller obefintlig.

### 1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att samla upp, sammanställa och komplettera den vetenskapliga och erfarenhetsmässiga kunskapen som i dagsläget finns kring högtrycksbrandsläckning. Syftet är också att med hjälp av denna kunskap utvärdera högtrycksbrandsläckning och sätta in denna i ett räddningstaktiskt och förvaltningsekonomiskt perspektiv. Ett oundvikligt sekundärt syfte är att utvärdera ekvationer och standarder med avseende på om dessa är giltiga och användbara för högtryckssystem.

### 1.3 Mål

Målet med rapporten är att skapa ett beslutsunderlag för räddningstjänsten angående nyttjandet av högtrycksbrandsläckning. Dels för räddningsledaren som på skadeplats ska ta beslut om användning av högtryck eller inte och dels för förvaltningsledningen som tar beslut om inköp av fordon med eller utan högtryckssystem.

### 1.4 Målgrupp

Avsikten är att huvuddelen av innehållet skall kunna tillgodogöras av all personal på räddningstjänsterna samt övriga intressenter som kan komma att beröras av systemen, såsom försäljare och tillverkare.

### 1.5 Avgränsningar

Fokus i rapporten ligger på högtryckssystem på centrumrulle med cirka 40 bar på pumpen. Detta kommer sig av att dessa är lättast att jämföra med konventionella lågtryckssystem samt att tillgängligt material och mätningar på system med högre tryck inte varit tillgängligt i önskvärd utsträckning.

Endast insatser mot brand i byggnad har betraktats men högtryckssystem kan även vara mycket användbara i andra situationer, exempelvis trafikolyckor.

Av praktiska skäl har mätningar och försök endast gjorts med 40 bars högtryckssystem och endast med de strålrör som varit tillgängliga via Räddningsskolan i Revinge,

Räddningstjänsten Landskrona och Brissmans Brandredskap AB. Försöken är genomförda med en medvetet rimlig noggrannhetsnivå som motsvarar denna rapportens mål men kan vara bristande om resultaten används i andra syften.

### 1.6 *Problemformulering*

Tre huvudsakliga problemformuleringar ligger till grund för rapporten.

- Vad är högtryckssystemens tekniska prestanda?
- Hur skiljer sig de användarmässiga egenskaperna åt mellan släcksystem med olika tryck?
- I vilka fall, räddningstaktiskt och ur ett förvaltningsmässigt perspektiv, är det lämpligt att välja ett släcksystem med ett högre tryck och i så fall vilket?

### 1.7 *Metod*

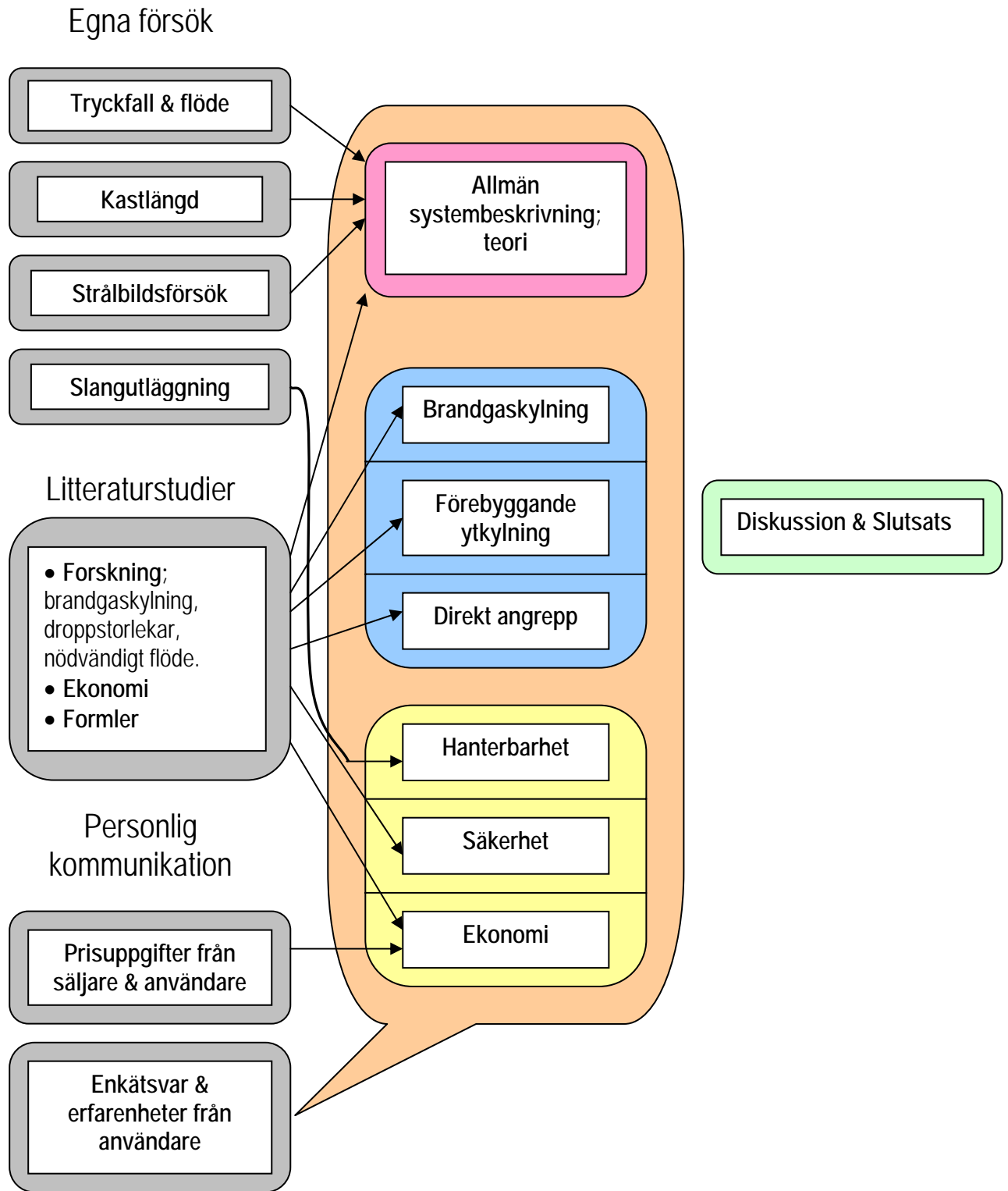
Jämförelsen baseras på litteraturstudier, mätningar och beräkningar. Ett allmänt problem med litteraturstudier är att mät- och forskningsresultat på ”praktiska brandmannatillämpningar” i regel inte publiceras i vetenskapliga tidningar, som är lätt sökbara via databaser. Istället har utgångspunkten varit litteratur som rekommenderats av handledare samt den litteratur som denna litteratur i sin tur refererar till. Många rapporter översätts dessutom inte från ursprungsspråk till engelska varför innehållet inte har kunnat tillgodogöras i detta arbete.

I figur 1 illustreras vilka olika informationskällor som legat till grund för arbetet.

Det ansågs intressant för rapporten att få en uppfattning om hur utbredd det är med någon form av högtrycksanvändning hos räddningstjänsterna idag. Därför gjordes ett försök att nå ut till alla räddningstjänster/-förbund per mail.

För att förankra rapportens innehåll i verkligheten och få ta del av positiva och negativa erfarenheter av användning av högtryckssystem utformades enkäter som skickades ut till räddningstjänsterna i Storgöteborg, Jönköping, Räddningstjänsten Landskrona samt Gästrike räddningstjänst. Syftet var att få tillgång till erfarenheter och synpunkter att diskutera i diskussionskapitlet, inte att erhålla ett statistiskt användbart underlag.

*Informationsinhämtning      Analy      Diskussion*



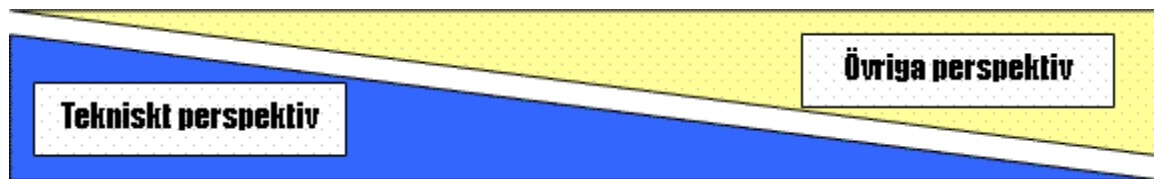
Figur 1. Schematisk bild över hur källor använts och blir ny kunskap.

## 1.8 *Rapportens disposition*

Rapporten inleds med en teoretisk grund som på en tämligen ingående nivå beskriver skillnaderna mellan lågtryck- och högtryckssystem. Efter detta kommer tre kapitel med en utredning av brandbekämpande förmåga och därefter tre kapitel om hanterbarhet, säkerhet och ekonomi.

Beskrivningen av högtryckssystem och jämförelsen med ett lågtryckssystem, avslutas med ett diskussionskapitel som belyser skillnader i tekniska, räddningstaktiska och förvaltningsmässiga aspekter. Avsikten med diskussionskapitlet är att sätta in systemens egenskaper i ett sammanhang.

Generellt kan sägas att kapitlen mellan inledning och diskussion flyttar fokus enligt Figur 2.



Figur 2. Rapportens innehåll.



## 2 HISTORIK OCH VART VI ÄR PÅ VÄG IDAG

---

*Syftet med detta kapitel är att ge en inblick i den debatt som varit kring högtrycket tidigare samt på senare tid. Historikstycket baseras på telefonsamtal med Kaare Brandsjö, ett av Sveriges första brandbefäl och en stor profil vad gäller utrustning- och metodutveckling inom brandväsendet.*

---

### 2.1 Tidigare användning av högtryck

Förekomsten av släcksystem med högt tryck i Sverige har varierat över tiden och över landet och även definitionen av begreppet i sig har varierat.

Innan andra världskriget saknade brandbilarna eget medtaget vatten och var därför beroende av vattenförsörjning med hjälp av motorsprutor med cirka 6 bar på pumpen vilka gav cirka 3 bar på enhetsstrålröret. På denna tid användes endast 63 mm grovslang, hela vägen från pump till strålrör.

Samtidigt användes på vissa håll i landet formstabil slang på centrumrulle ofta på bilarna. Denna teknik kom från USA. En nackdel med dessa var dock att bilarna ofta hamnade för nära branden och därmed tog skada. Dessutom gick pumparna ofta sönder och var p.g.a. kriget dyra att laga eftersom de tillverkades i USA.



**Figur 3. Gamml brandbil (Ford från 1968) med centrumrullad formstabil slang.**

Under en femårsperiod direkt efter kriget övergick många räddningstjänster istället till att använda högre tryck på pumpen, 12 bar, för att kunna få ut 6 bar på strålröret (enhetsstrålrör). Man började koppla grenrör till 63 mm grovslang från pump och smalslang från grenröret, den teknik som vanligen används idag. På enhetsstrålröret kunde en tillsats, brandskyddssatsen, kopplas som skapade en vattendimma (då finfördelad stråle).

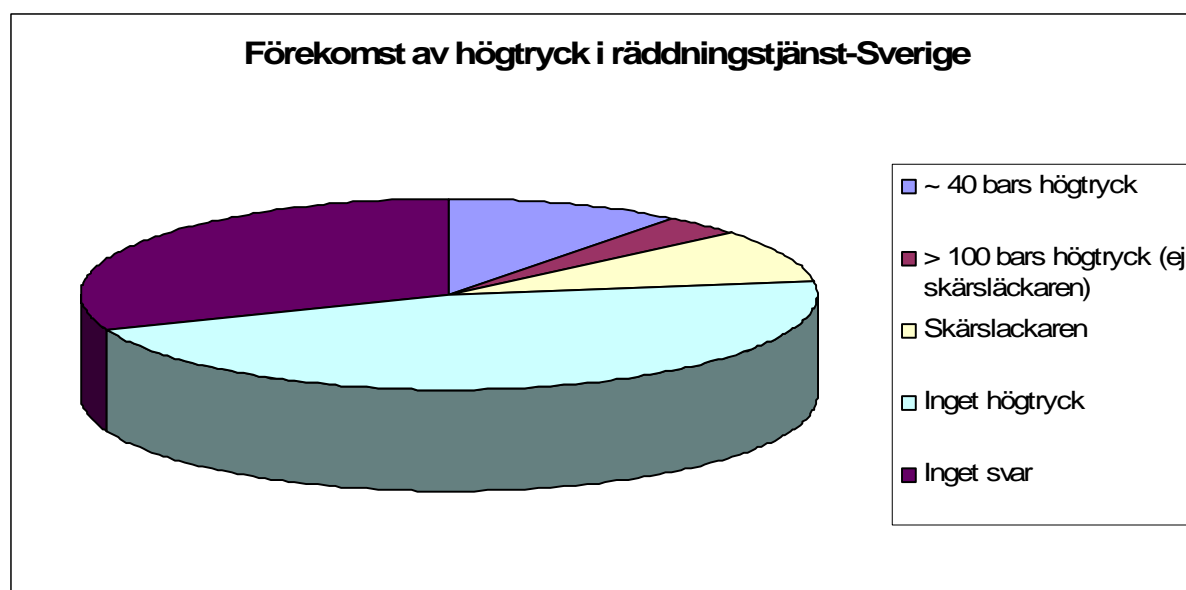
Sedan dess har framförallt strålrörsutvecklingen gått framåt och renodlade så kallade dimstrålrör introducerats i Sverige från förlagor i USA. Genombrottet för dimstrålrör i Sverige kan sägas kom med introducerandet av TA FogFighern. Användningen av högtryck

på centrumrulle fasades ut eftersom det hävdades att det inte behövdes högre tryck på strålröret än 6 -7 bar.

Återinförandet av högtryck i Sverige på senare tid har framförallt skett på två fronter. Dels genom utvecklandet av Skärsläckaren (ca 300 bar) och dels genom att Landskrona räddningstjänst infört 40 bars högtryck på sina släckbilar efter studiebesök hos Köpenhamns brandväsen. Även på Räddningsverkets skolor i Skövde och Revinge införskaffades bilar med 40 bars högtryck och formstabil slang på centrumrulle under mitten av 1990-talet.

### 2.2 Användning av högtryck idag

Den 12:e December 2005 såg användningen av högtryck i landet ut på följande sätt:



Figur 4. Förekomst av högtryckssystem hos Räddningstjänsten i Sverige 12 december 2005.

Totalt har 203 räddningstjänster tillfrågats. Där stationer ingår i förbund har svaret ja eller nej givits för hela förbundet om någon enhet haft någon form av högtryck.

Tabell 1. Förekomst av högtryck i räddningstjänst-Sverige.

System	Antal
~ 40 bars högtryck	21
> 100 bars högtryck (ej skärsläckaren)	7
Skärsläckaren	18
Inget högtryck	94
Inget svar	63
Totalt antal:	203

Mot denna bakgrund anses det finnas ganska mycket erfarenhet i landet av att använda systemen, och det är författarnas erfarenhet att samtliga högtrycksnyttjare välvilligt delar med sig av sina erfarenheter.

### 2.3 Skrivits i Sirenen

För att hitta artiklar som berör ämnet har en ordsökning gjorts i Sirenen<sup>1</sup> samtliga artiklar från 2000 – då artiklarna blev tillgängliga och sökbara via Internet – och fram till idag. Sökningen gjordes i september 2005. Två sökord har använts:

- *högtryck*
- *förhöjt lågtryck*

Varje svar har gått igenom. I vissa fall har en sökning på *högtryck* resulterat i en artikel om olyckstillbud i högtryckskompressorer. Dessa och liknande resultat har då avfärdats av författarna till rapporten. Resultaten återges i kronologisk ordning.

#### 2.3.1 Resultat av artikelsökning

1. I Sirenen nr 5 2000 har man ett reportage från den tyska brandskyddsmässan ”Röde hanen”. Den svenska skärsläckaren ges uppmärksamhet. Dessutom konstaterar Tom Thörn från Räddningsverket i Karlstad att trenden med högt tryck och lågt flöde är på väg tillbaka, så även i Sverige.
2. I Sirenen nr 2 2001 skriver danske brandchefen Steen F. Schou om att Danmark är intresserade av att ta del av erfarenheter av små enheter. Han passar dessutom på att berätta om det dansktillverkade systemet Fire Express som är ett högtryckssystem som jobbar med ca 22 bar på pumpen och kan kombineras med AFFF-skum för bästa släckverkan. Han skriver även att fördelar med Fire Express är att det relativt låga trycket inte utgör någon personfara samt att man inte tillför branden extra luft som annars kan vara vanligt med andra högtryckssystem. Han beskriver även att man provar att ha små släckenheter på motorcyklar. Hos dessa används luft från en andningsluftflaska för att ge systemet arbetstryck.
3. I Sirenen nr 5 2001 finns ett reportage om Isländsk räddningstjänst. Där har man använt högtryck sedan det kom med amerikanarna efter andra världskriget. På Island använder de högtryck med ca 40 bar på pumpen. Man ska dock (2002) gå över till 50 – 60 bar på pumpen. De har dessutom 60 meter slang vilket gör att de får ett relativt högt strålrörstryck. Se vidare bilaga A - Räddningstjänster med högtryck.
4. I Sirenen nr 4 2002 skriver Per-Olov Carnerud, pensionerad räddningschef i Luleå, om att skärsläckaren som är väl så bra inte är ett universalverktyg som kan användas vid till exempel rökdykning. Han skriver även att erfarenheter från inblandning av 0,1 % AFFF visat mycket bra resultat och lovordar denna teknik för framtiden.
5. I Sirenen nr 6 2002 finns en nyhetsannons om Stefan Svensson som disputerat på Räddningstjänstens operativa problem. I artikeln nämns att Stefan i försök använt sig av högtryck (ca 40 bar på pumpen). I artikeln säger Stefan att: ”fördelarna med högtryck är bland annat att man minskar angreppstiden eftersom man sliper koppla slangar. Dessutom är släckeeffekten till följd av det högre trycket något annorlunda och i många fall bättre än för motsvarande lågtryckssystem”.

---

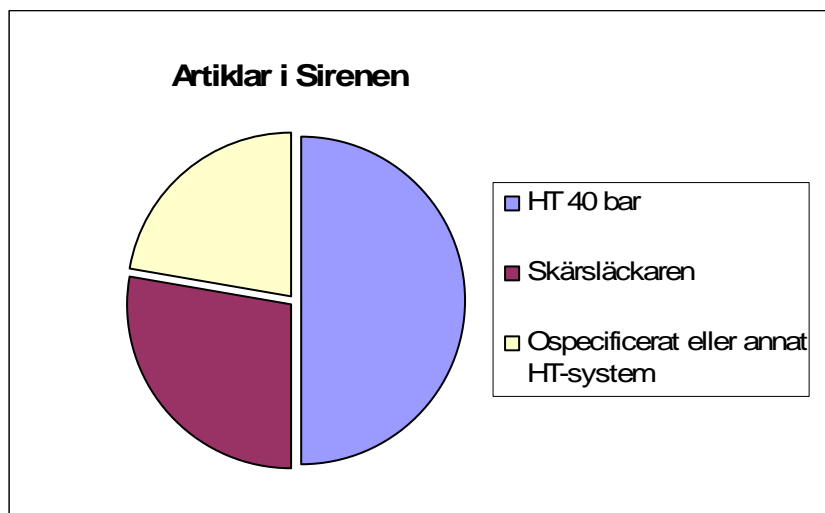
<sup>1</sup> Sirenen är Räddningsverkets tidning vars uppgift är att bevaka utvecklingen inom verkets ansvarsområden och stimulera till debatt i dessa frågor. Tidningen kan bland annat nås genom [www.srv.se](http://www.srv.se)

6. I Sirenen nr 8 2002 skriver Stefan Särdaqvist i *Sirenens Räddningsskola* om användningen av olika strålrör och om bland annat användning av högtryck med ett pumptryck på 20 – 40 bar. Detta kan användas till bland annat att transportera vatten i smalare slangar (England och Danmark) eller för att få ett högt strålrörstryck (Island).
7. I Sirenen nr 8 2002 berättar Ulf Bergh, Landskrona, om att man i Landskrona fullt ut gått över till att använda ett högtryckssystem som ger ca 40 bar på pumpen. Systemet liknar det som finns i Köpenhamn, se bilaga A - Räddningstjänster med högtryck. Artikeln handlar uteslutande om högtryckssystemet och Ulf Bergh lyfter fram flertalet fördelar som han ser det: snabbare slangutläggning, alltid vatten i slang (behöver inte lufta). Se vidare bilaga A - Räddningstjänster med högtryck.
8. I Sirenen nr 4 2003 berättas att Värnamo använder sig av högtryckssläckning vilket enligt brandmän på stationen innebär lättare slang och mindre strålrör.
9. I Sirenen nr 5 2003 berättar Räddningstjänsten i Mönsterås om sina erfarenheter av brandsläckning med skärsläckaren. De anser att tekniken är oerhört bra i slutna utrymmen och menar att den är bättre än ”förhöjt lågtryck” eftersom man dels slipper gå in i brandrummet och dels endast lämnar efter sig ett litet hål och inga vattenrester.
10. I Sirenen nr 6 2003 kommenteras i en insändare nyttan med att vattenbegjuta byggnadsfasader när branden är invändig. Insändaren önskar att högtryck och dimma borde användas i högre utsträckning vid dessa tillfällen.
11. I Sirenen nr 4 2004 berättas om att man i Borås har provat att använda det konventionella släcksystemet med en formstabil 25 mm slang. Vid Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund arbetar man mycket med att pröva olika brandsläckningstekniker.
12. I Sirenen nr 5 2004 berättas om Södertörns brandförsvarsförbund som börjat använda mindre dagstyrkor vilka bland annat bemannar en ombyggd Mercedes Sprint som är utrustad med ett högtryckssystem vid namn Fire Express. Dessa system arbetar vid ca 22 bars pumptryck. Med en enkel knapptryckning kan skum kopplas in. Rengöring av strålrör/handenhet görs sedan enkelt genom att spola igenom med rent vatten. Systemet ger mycket små droppar och arbetar med ett lågt flöde. Se vidare bilaga A - Räddningstjänster med högtryck.
13. I Sirenen nr 5 2004 menar Kaare Brandsjö, pensionerad brandingenjör, i en artikel att brandsverige generellt har svårt att acceptera förslag till förbättringar av material och metoder. Införandet av smalslang och högre strålrörstryck samt släckning med vattendimma och högtryck på 1940- respektive 1950-talet ges som exempel där motvilja funnits.
14. I Sirenen nr 7 2004 kommenterar Stefan Särdaqvist i en insändare att Räddningsverket på ett konkurrenshämmande sätt framhäver skärsläckaren framför andra innovativa system när det gäller utrustande av framförallt små taktiska enheter. Räddningsverkets tillförordnade överdirektör Ivar Rönnbäck svarar direkt med att Räddningsverket har som uppdrag att utveckla nya metoder och tekniker för brandsläckning och att även flera tekniker ska bedömas.

15. I Sirenen nr 7 2002 skrivs om Köpenhamns brandväsen och svenske brandingenjören Magnus Mattson som arbetar där. Artikeln belyser att man i de absolut flesta insatser använder sig av ett högtryckssystem. Användningen av högtryckssystem är dessutom förankrad i lagstiftningen då Danmark har en kombination av privat och offentlig räddningstjänst. Se vidare i bilaga A - Räddningstjänster med högtryck.
16. I Sirenen nr 6 2004 berättas om att Krister Palmkvist vid Södra Älvsborgs räddningstjänstförbund fått i uppdrag av Räddningsverket att sammanställa erfarenheter från insatser med skärsläckaren i en nationell databas. Krister menar bland annat att skärsläckaren ändrar det taktiska upplägget.
17. I Sirenen nr 8 2004 berättas om Södra Roslagens Brandförsvarsförbund som införskaffat två mindre enheter som båda är utrustade med ett tyskt högtryckssystem som ger ca 200 bar på pumpen. Se bilaga A - Räddningstjänster med högtryck.
18. I Sirenen nr 4 2005 berättas om en svensk brandmannastyrka som ska skickas till Kosovo för att bistå vid brandsläckning. Deras bil är utrustad med högtryckssystem eftersom det är: "... effektivare under de förhållanden vi arbetar (i)".

### 2.3.2 Kommentarer

Av 18 artiklar såg resultatet ut som i figur 5.



**Figur 5.** Andel artiklar som svarar mot sökorden *högtryck* respektive *förhöjt lågtryck* och handlade om brandsläckning.

Även om den största andelen av artiklarna berört högtryck med 20 - 40 bar på pumpen så har artiklarna om skärsläckaren vållat livligare debatt kring systemets faktiska släcke effekt och lämplighet.

Bland artiklarna som inte uteslutande berört skärsläckaren har artiklarna 3, 7, 12, 15 och 17 bedömts så intressant att vidare kontakt tagits.



## 3 TEKNISK PRESTANDA

---

---

*Följande kapitel beskriver systemens tekniska egenskaper, d.v.s. hur de uppför sig.*

---

---

### 3.1 Definitioner

I denna rapport används följande definitioner av släcksystem:

- Med *lågtryckssystem* menas system som arbetar med ett tryck från pumpen på upp till 20 bar.
- Med *högtryckssystem* menas system som arbetar med ett tryck från pumpen på 20 bar och däröver. Vid behov namnges systemen även efter det tryck de använder, exempelvis 40 bars högtryck eller 250 bars högtryck.

Utöver detta finns det system som i sin funktion väsentligen skiljer sig från det grundläggande lågtryckssystemet. Dessa system benämns med specifika namn, exempelvis Skärsläckaren.

Släcksystem som arbetar med ett tryck från pumpen på cirka 40 bar omnämns ibland som system med förhöjt lågtryck och system med 250 bar som superhögt tryck, dock inte i denna rapport.

Definitionen som den är formulerad här grundar sig delvis på europanormen SS-EN1028 (2002).

### 3.2 Tryckfall

Vattentrycket i ett slangsystem har som uppgift att se till så att vattnet når från vattenkälla, via pump, fram till strålröret där brandmannen använder det. Utöver detta transporttryck krävs också ett visst tryck framme vid strålröret för att på avsett vis skapa droppar och sätta dessa i rörelse. Av denna anledning är det av vikt att de sammanlagda tryckförlusterna i ett utlagt slangsystem är så små som möjliga.

För att åskådliggöra vilka delar som orsakar tryckfall i slangsystemet görs följande uppdelning:

- Pumputtag
- Slang
- Lokala förluster (kopplingar, förgreningar, böjar och ventiler)
- Höjdskillnad
- Strålrör

#### 3.2.1 Pumputtag

I vissa äldre pumpar kunde tryckmätaren sitta inne vid pumpen. I ett sådant läge kan rörkrökar mellan pumpen och vattenuttaget för slangen, orsaka tryckfall som inte syns på tryckmätaren.

Idag är dock det vanligaste att tryckmätaren sitter precis framför vattenuttaget, varför det uppmätta trycket är det faktiska trycket vid vattenuttaget, eller kort och gott: *”det tryck man ser, är det som ges”*. På högtryckssystem som i regel har fast monterade slangar, anges trycket oftast nära inpå där slangen börjar.

### 3.2.2 Slang

När vatten transporteras i en slang fås tryckfallsförluster. Dessa tryckfall beror bland annat på friktion mot slangens insida men framförallt på turbulens. Friktionen beror av vätskans viskositet och slanginsidans skrovlighet medan turbulensen främst beror av hastigheten i vattnet. Kopplingar och böjar på slangen orsakar stor turbulens genom att de påverkar den hastighetsprofil som vattnet får genom de respektive delarna.

Vattenhastigheten i smala slangar som vanligen används i högtryckssystem, är större än vattenhastigheten i grova slangar vid samma flöde. Av denna anledning gäller att korta och grova slangar ger avsevärt mindre tryckfallsförluster än långa och smala slangar.

För att få en uppfattning om storleken på tryckfallet i en viss typ av kan tryckfallet per meter slang beräknas med hjälp av två olika samband. Det ena kallas allmänna friktionslagen eller Darcy-Weisbachs ekvation (*Brandvattenförsörjning*, 1994) och den andra Hazen Williams ekvation. (Särdqvist, 2002).

Darcy-Weisbachs ekvation:

$$p_f = 10^{-5} \cdot f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad [\text{bar}] \quad \text{Ekvation 1}$$

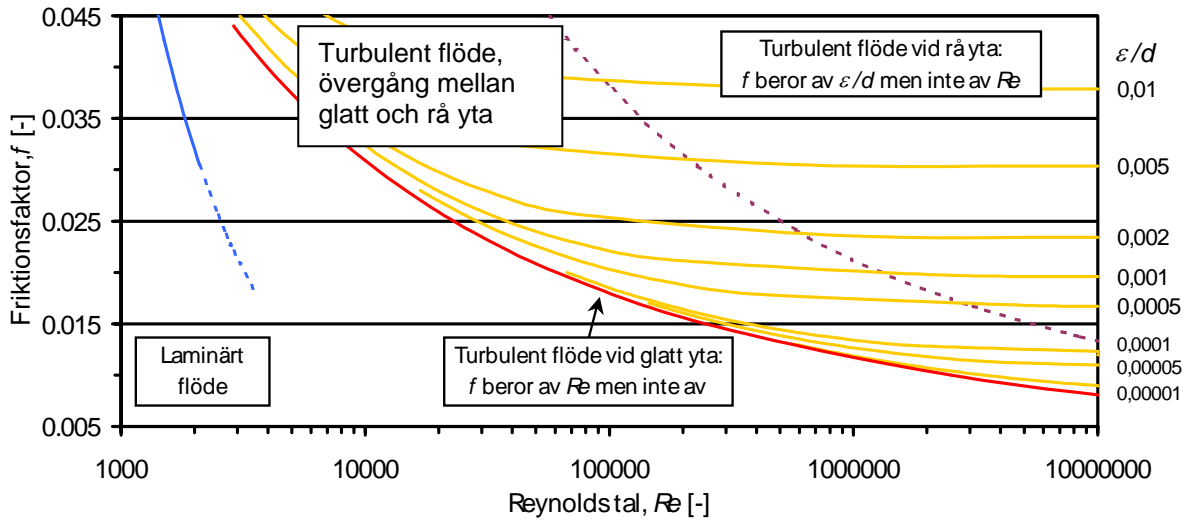
Friktionsfaktorn,  $f$ , kan läsas av i ett Moody-diagram om kännedom finns om Reynolds tal för vattnet, samt slangens sandråhet och inre diameter. Reynolds tal är ett mått på graden av turbulens och beräknas med hjälp av flödeshastigheten och slangens inre diameter. Sandråhet är ett mått på slanginsidans skrovlighet. Moody-diagrammet gäller under förutsättning att flödet är turbulent. Annars gäller alltid att  $f = 64/\text{Re}$ .

**Tabell 2. Sandråhet hos olika ytmaterial.**

Rörmaterial	Sandråhet, $\epsilon$ [mm]
Betong	0,3-3
Gjutjärn	0,25
Galvaniserat järn	0,15
Smidesjärn	0,046
Stål	0,046
Plaströr	0,0015

I brandslangar som i regel har gummibeklädd insida är ofta sandråheten av storleksordningen 0,0015 (Särdqvist, 2002).





Figur 6. Moody-diagram.

För att komma till bukt med att friktionskoefficienten,  $f$ , beror av flödet, kan ett slangspecifikt  $k$ -värde beräknas vid givna referensflöden. Med hjälp av detta kan sedan  $f$  lösas ut. Ekvationen som är härledd ur ekvation 1, ser då ut som:

$$p_f = k \cdot L \cdot q^2 \quad [\text{bar}] \quad \text{Ekvation 2}$$

Där:

$$k = 10^{-5} \cdot \frac{8 \cdot f \cdot \rho}{D^5 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{60000^2} \quad \text{Ekvation 3}$$

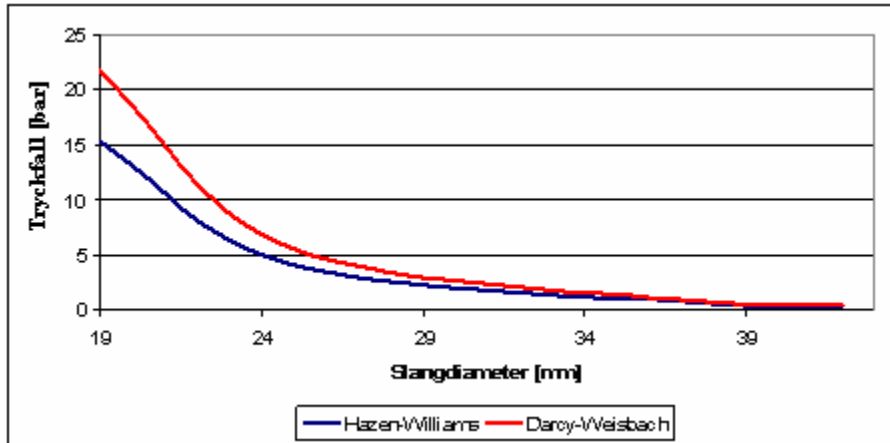
Hazen-Williams ekvation:

Hazen-Williams ekvation används vanligen vid sprinklerdimensionering enligt bland annat NFPA 750 (1996). Denna ekvation gäller dock endast upp till ett maximalt tryck på 12 bar och är således inte användbar vid beräkningar på högtryck. Denna formel är dock något lättare att arbeta med då dess parametrar inte är beroende av andra parametrar i ekvationen.

$$p_f = 6,05 \cdot 10^5 \cdot \frac{L \cdot q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad [\text{bar}] \quad \text{Ekvation 4}$$

Enligt Jensen (2002) är värdet på  $C = 140$  för bland annat plaströr. Särddqvist (2002) använder istället värdet  $C = 150$  för brandslang.

En jämförelse mellan dessa två samband ges i figur 7 för 80 m slang, där friktionsfaktorerna  $f = 0,03$  (utläst ur figur 6 från ett ungefärligt värde på vattnets hastighet à 10 m/s och en glatthet på 0,001) respektive  $C = 140$  använts för Darcy-Weisbachs respektive Hazen-Williams ekvationer.



Figur 7. Jämförelse mellan ekvationer för tryckförlust i slang.

Jämförelsen mellan ekvationerna avslöjar att det skiljer en hel del åt emellan ekvationerna när diametern krymper. I bilaga I – Känslighetsanalys av tryckfallsekvationer, framgår att skillnaderna till stor del kan förklaras med hur noggrant friktionskoefficienterna  $f$  respektive  $C$  anges. Oavsett detta framgår det tydligt att friktionen i slangar ökar väsentligt när den inre diametern är mindre än 25 mm, vilket är fallet med högtrycksslang.

På slangsystem för lågtryck som, i Sverige, i regel har en minsta diameter på 38 mm kan båda ekvationer användas med giltigt resultat. Det är tveksamt om ekvationerna bör användas för beräkningar på högtryckssystem eftersom resultaten är så starkt beroende av bra indata, som kan vara svår att komma över.

### 3.2.3 Lokala förluster

Med lokala förluster menas här i huvudsak sådana förluster som uppkommer över kopplingar, förgreningar, böjar och ventiler. Det som skapar tryckfallet är främst att vattenströmmens diameter ändras eller att strömningsriktningen kraftigt ändras. Detta orsakar virvelbildning, turbulens. I vissa slangutläggningar kan de lokala förlusterna försummas. Detta gäller framförallt vid långa rör och där skrovligheten är stor. Hur stora de lokala förlusterna blir beror av vattnets hastighet. En jämförelse mellan låg- och högtryckssystem ger vid samma flöde att hastigheten är större i högtryckssystemet (eftersom diametern på slangen är mindre i dessa system).

Den lokala förlusten kan bestämmas m.h.a. sambandet:

$$p_f = 10^{-5} \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 10^{-5} \cdot \zeta \cdot \frac{8 \cdot \rho}{D^4 \cdot \pi^2} \cdot q \quad \text{[bar]} \quad \text{Ekvation 5}$$

Där:

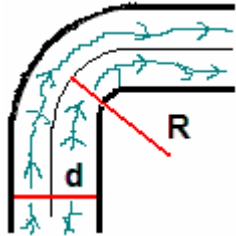
$$\zeta \quad \text{motsvarar det tidigare } f \cdot \frac{L}{D}$$

I praktiken används inte kopplingar i högtryckssystem annat än i anslutningar, varför kopplingar endast blir relevanta att räkna på i ett lågtryckssystem. Dessa förluster är dock inbakade i det värde på  $\varepsilon/d$  (sandråhet över inre diameter som används i Moody-diagrammet) som användes för att beräkna tryckfall i slang enligt Darcy-Weisbachs ekvation. Skall mer

komplikerade komponenter kopplas in, till exempel ett grenrör, kan ekvation 5 användas. Eftersom ekvation 5 och 1 är väldigt lika varandra kan tryckfallet över komponenten översättas till en ekvivalent slanglängd. Detta förutsätter dock att man först beräknat friktionsfaktorn,  $f$ , för den motsvarande slangen. Se tidigare avsnitt 3.2.2.

*Exempel:*

*Komponenten, en mjuk böj, på 90° där  $R/d = 2$  ger  $\zeta = 0,13$ .*



**Figur 8. Rörkrök.**

*Detta motsvarar  $f \cdot \frac{L}{D} = 0,13$ . Om  $f$  är 0,03 (som i exemplet som återges i figur 7) och diametern 0,042 meter motsvarar detta 1,82 meter extra slanglängd, d.v.s. tryckförlusterna är tämligen harmlösa i denna böj.*

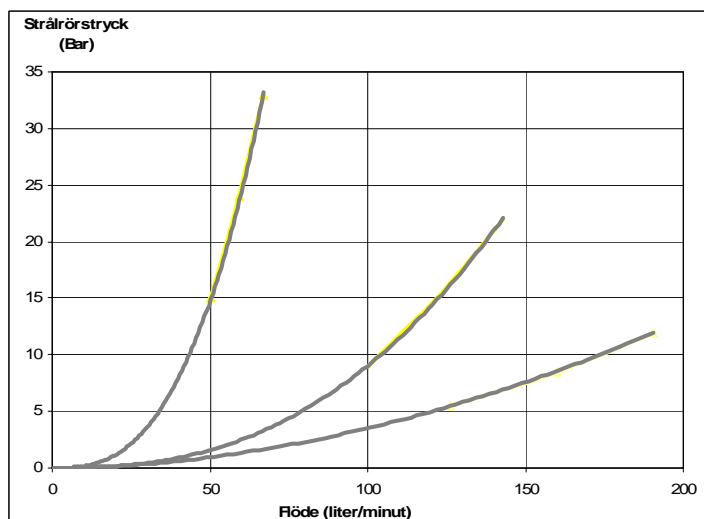
### 3.2.4 Höjdskillnad

Om strålröret befinner sig på högre höjd än pumpen orsakar detta ett tryckfall. Detta tryckfall är oberoende av flödet och blir därför samma för både låg- och högtryckssystem.

En höjdskillnad på 10 meter ger ett tryckfall på 1 bar, d.v.s. på grovt sett var tredje våningsplan förloras 1 bar i systemet. Ett högtryckssystem med högt strålrörstryck är mindre känsligt än ett lågtryckssystem för dessa tryckförluster, eftersom det från början finns ”mer tryck att ta av” hos högtrycket.

### 3.2.5 Strålrör

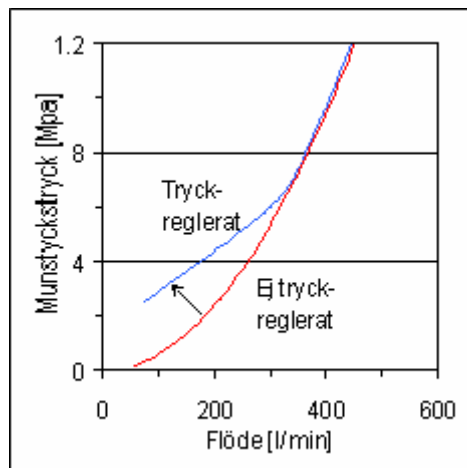
Olika strålrör kan ge olika stora tryckförluster vid samma flöde. En stor tryckförlust innebär att trycket över strålröret är stort, vilket förknippas med en finare dimma.



**Figur 9. Tryck-flödeskurvor för tre olika högtrycksstrålrör på 40 bars högtryckssystem.**

I ett lågtryckssystem är vanligt tryck över strålröret ca 6 bar och detta är även standardtryck enligt strålrörstandarden SS 3500 (1987). Ett högtryckssystem har ofta ett strålrörstryck som överstiger detta, även om det också bland dessa kraftigt varierar från strålrör till strålrör (se figur 9). Se vidare bilaga B - Tryck-flödeskurvor.

Vissa strålrör har en tryckautomatik som gör att flödet stryps för att bibehålla ett visst strålrörstryck. Detta kan göra att det exponentiella sambandet mellan flöde och tryck inte kan bestämmas enkelt med bara tre punktmätningar.



Figur 10. I ett strålrör med tryckautomatik stryps flödet för att hålla upp trycket. Då flödet minskar, minskar också strömningsförlusterna i slangen..

Vid användning av strålrör i högtryckssystem är trycket över strålröret ofta utanför det område under vilket tryckautomatiken fungerar. Den fjäder som dämpar flödet för att bibehålla ett högt strålrörstryck, har då "gått i botten" och följden blir att strålbilden kommer att variera med vilket pumptryck som väljs.

### 3.3 Droppstorlek

Ett trycksatt strålrör som öppnats levererar en strid ström av droppar av olika storlek. Dropparnas storlek varierar inom ett visst intervall för varje strålrör vid ett visst tryck och flöde.

Droppstorleken är av betydelse vid användandet av vattnet för brandsläckning. Små droppar har fördelen att de fort förångas i heta brandgaser eller flammor. Större droppar har fördelen av att ha en bättre kastlängd och förångas inte så snabbt. Ett dimstrålrör ger brandmannen en möjlighet att styra över droppstorleksfördelningen. Generellt ger en spridd stråle fler och mindre droppar medan en mer sluten stråle ger färre och större. Vid en helt sluten stråle är det dock inte tillämpligt att tala om droppstorleksfördelning.

I de fall då avsikten med vattenanvändning är att kyla heta brandgaser är små droppar att föredra. Om dropparna är tillräckligt små kommer hela vattenmängden att förångas i brandgaserna och effektiviteten blir hög. Hos samma mängd vatten, volym och massa, har en vattenspray med mindre droppstorlek en totalt sett större area. Ett av hindren för att framställa små droppar är att för små droppar slås ihop. Detta sker i en snabbare takt om dropparna är av varierande storlek, vilket är fallet med de droppar som strömmar ur ett dimstrålrör. Detta sker också fortare om dropparna rör sig relativt varandra (Andersson&Holmstedt, 1999).

Generellt brukar det sägas att ett högre munstyckstryck ger mindre droppstorlekar. Riktigt så enkelt är det inte. Droppstorleken beror i hög grad på genom vilken mekanism vattnet sönderdelas, i dessa fall alltså hur strålröret är konstruerat (Rimen, 1990).

I försök som Rimen gjort syns dock en trend mellan droppstorlek och munstyckstrycket för strålrör nämligen att en ökning av trycket ger en minskning av droppstorleken. I hans försök innebar en ökning av strålrörstrycket att medeldroppsdiаметern sjönk från att ha överstigit 0,5 mm till att ligga mellan 0,3-0,5 mm.

### 3.3.1 Klassindelning av droppstorlekar

För att göra det enklare att diskutera droppstorlekar hos vattensprayer kan en klassindelning användas som vanligen används i sprinklerapplikationer. (NFPA 750, 1996).

- Klass 3 < 90 vol% av dropparna är mindre än 0,4 mm.
- Klass 2 90 vol% av dropparna är 0,2-0,4 mm.
- Klass 1 > 90 vol% av dropparna är mindre än 0,2 mm.

Det finns även andra sätt att klassificera sprayer/dimmor, se exempelvis Barnett & Grimwood (2005).

### 3.3.2 Sönderdelning av vatten

Vattnet kan sönderdelas genom flera olika mekanismer. Det finns tre huvudvarianter hydraulisk, pneumatisk och mekanisk (Arvidsson och Hertzberg, 2001).

Hydraulisk:

Detta är den sönderdelningsmetod som används i vanliga låg- och högtrycksmunstycken. Den går ut på att man med högt vattentryck pressar vattnet genom ett visst munstycke utformat på lämpligt sätt. Denna metod är även vanlig vid framställande av vattendimma, d.v.s klass 1 droppar.

Pneumatisk:

Här leds en gas (vanligen luft) under tryck fram till mynningen för vattnet och blåser där på vattenstrålen. Både vatten och gastryck är här relativt låga, i storleksordningen mindre än 10 bar. Ett exempel på detta är vid sprutmålning med kompressor och vissa högtryckstvättar till bilen.

Mekanisk:

Vid mekanisk sönderdelning används någon form av spridarplatta. Exempel på dessa är plattan på ett sprinklerhuvud och ”den snurrande ringen” på vissa strålrör.

Hos vanliga strålrör för lågtryck och upp till 40 bars högtryck sker sönderdelningen av vattnet genom hydraulisk eller hydraulisk- och mekanisk verkan.

Vid framställning av vattendimma (vanligen i fasta släcksystem) där t.ex. pneumatisk finfördelning används kan mycket små droppar framställas vid relativt låga tryck. Flödet i dessa sammanhang är dock mycket lågt och utgör inte ett realistiskt alternativ för invändig manuell brandsläckning i byggnader eller motsvarande.

### 3.3.3 Medeldiametrar

Det finns olika sätt att beskriva droppstorleken i en spray. Den vanligaste är den som kallas Sauter-medeldiametern. Den kan även kallas volymytmedelvärde. (Särdqvist, 2002). Nedan är  $d_i$  diametern av en enskild droppe och  $x_i$  dess index.

Sauter-medeldiameter:

Sautermedeldiametern är diametern av en viss droppe som har samma förhållande mellan volym och yta som är samma som för alla droppar i sprayen.

$$d_{\text{sauter-medel}} = SMD = D_{32} = \frac{\sum x_i \cdot d_i \cdot d_i^2}{\sum x_i \cdot d_i^2} \quad \text{Ekvation 6}$$

Aritmetisk/Geometrisk medeldiameter:

Den aritmetiska medeldiametern är medelvärdet av alla droppar.

$$d_{\text{geometrisk}} = \frac{\sum x_i \cdot d_i}{\sum x_i} \quad \text{Ekvation 7}$$

Volymmedeldiameter:

Volymmedeldiametern är diametern av den droppe som har samma volym som medelvolymen av alla droppar i sprayen. Denna är samma som massmedeldiametern.

$$d_{\text{volymmedel}} = \left( \frac{\sum x_i \cdot d_i^3}{\sum x_i} \right)^{1/3} \quad \text{Ekvation 8}$$

Storleken på de olika medeldiametrarna för en och samma spray varierar, varför det är viktigt att vara medveten om vilken medeldiameter som avses vid t.ex. inköp av ny utrustning.

Vid mätningar på strålröret Akron 4801 (Svensson, 2000a) blev t.ex. medeldiametern följande:

**Tabell 3. Exempel på variation i storlek hos de olika medeldiametrarna.**

Typ av medelvärde	[mm]
Aritmetiskt medelvärde	212,2
Ytmedelvärde	262,2
Volymmedelvärde	320,5
Sautermedelvärde	487,3

Som framgår av tabell 3 kan det vara stor skillnad mellan de olika medeldiametrarna, varför det är viktigt att vara medveten om vilken av definitionerna som avses i ett visst sammanhang.

### 3.4 Kastlängd

Vid brandsläckning eftersträvas lång kastlängd och samtidigt spridd stråle för att kunna täcka så stora ytor som möjligt från ett säkert avstånd.

#### 3.4.1 Spridd stråle

För en vattenspray finns ett experimentellt framtaget samband för kastlängden som gäller för konvinklar mellan 30° och 90° (*Fire Research* 1955,1956) refererad i Särdaqvist (2002).

$$l_{\text{max}} = \frac{4,0935 \cdot q^{0,36} \cdot p^{0,28}}{\alpha^{0,57}} \quad [\text{m}] \quad \text{Ekvation 9}$$

Formeln var ursprungligen endast verifierad upp till ett strålrörstryck om 10 bar, men den har verifierats i samband med försök (se bilaga C - Kastlängdsförsök) och stämmer med en precision på +/- 1 meter, även vid strålrörstryck upp emot 30 bar.

### 3.4.2 Sluten stråle

För att beräkna teoretisk kastlängd och –höjd kan beräkningar göras med enkla formler framtagna för en kropps rörelse genom luften. Dessa beräkningar tar inte hänsyn till luftmotståndet, varför kastlängden i verkligheten alltid blir kortare än den beräknade.

$$l = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\beta)}{g} \quad [\text{m}] \quad \text{Ekvation 10}$$

$$z = \frac{v_0^2 \cdot (\sin \beta)^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad \text{Ekvation 11}$$

Vattnets utgångshastighet kan enligt strålrörsstandarden SS3500 beräknas enligt:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho} + v_r^2} \quad [\text{m/s}] \quad \text{Ekvation 12}$$

Där:  $P = [\text{Pa}]$  Strålrörstrycket här angivet i Pascal.

Ekvation 12 kan även skrivas som:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho} + \left(\frac{q}{A_{slang}}\right)^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho} + \left(\frac{q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}\right)^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho} + 8 \cdot \left(\frac{q}{\pi \cdot d^2}\right)^2} \quad \text{Ekvation 13}$$

Framräknad kastlängd blir mycket längre än vad som fås i verkligheten. Sannolikt beror detta till stor del på luftmotståndet. Analyseras slututtrycket i ekvation 13 inses att vid samma flöde *skall* högtrycket ge längre kastlängd vid sluten stråle. En mer korrekt jämförelse är svår att göra eftersom systemen sällan används vid samma flöde, eller snarare, krävs det lång kastlängd med ett lågtryckssystem så ökas flödet till nivåer ett högtryckssystem aldrig kan komma upp i. Således skulle den teoretiska skillnaden i sluten kastlängd kunna ”ätas upp”.

### 3.5 Ejektorverkan

Då dimstrålrör används med spridd strålbild fås en viss ejektorverkan av vattnet. Med detta menas att luft sugas in från omgivningen och förs med vattnet. Denna effekt kan användas till så kallad dimstrålrörsventilering (Svensson, 2000b).

Vid brandbekämpande med högtryck har det observerats, bl.a. i Magee (1974), att de små dropparna gett en tillfälligt ökad massförbränning. Magee (1974) hävdar att detta orsakas av en ökad turbulens (omblandning) och därmed förbättrad värmeledning inom de varma brandgaserna. Det har också observerats under släckförsök (Svensson, 2001) med högtryck

vid Räddningsverkets skola i Revinge, att varma brandgaser momentant antändes och kom emot rökdykarna. Detta skede går dock över snabbt (knappa sekunden), då vattnet börjat förångas och ta värme från brandgaserna.



**Figur 11. Momentan intensitetsökning i brandrummet till följd av ejektorverkan.**

Ejektorverkan beror i hög grad på att det höga strålrörstrycket ger varje enskild droppe en inledningsvis högre hastighet, d.v.s den nominella strömningshastigheten precis utanför strålrörsmunstycket är större.

Den ökade turbulensen beror sedan på skillnader i viskositet mellan luften och vattnet. Denna viskositet, friktion, ökar med hastigheten i kvadrat.

$$F_{\text{friktion/viskositet}} \propto v^2 \quad \text{Ekvation 14}$$

### 3.6 Reaktionskrafter

Vid användandet av strålrör för brandsläckning uppstår reaktionskrafter i strålröret, i enlighet med Newtons tredje lag. Reaktionskraften ökar proportionellt med vattnets flöde och hastighet. Stora reaktionskrafter gör strålröret svårt att hantera.



**Figur 12. Reaktionskraft vid användande av strålrör.**

Reaktionskrafterna för munstycken med en fast munstycksdiameter kan beräknas med följande formel (Särdqvist, 2002):

$$R = \dot{m} \cdot v_r = c \cdot \rho \cdot A_m \cdot v_r^2 = c \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_m^2}{4} \frac{2 \cdot 10^5 \cdot p}{\rho} = 0,5 \cdot 10^5 \cdot c \cdot \pi \cdot d_m^2 \cdot p \quad \text{Ekvation 15}$$

En fiktiv diameter för dimstrålrör kan beräknas med följande formel (Särdqvist, 2002):

$$d_m = \sqrt{\frac{q}{2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{p}}} \quad \text{Ekvation 16}$$



Formeln gäller för beräkning av reaktionskraften från en sluten stråle vilken är större än reaktionskraften från en spridd stråle eftersom den slutna strålen uteslutande är riktad framåt medan den spridda strålen sprider kraften något åt sidorna. De reaktionskrafter som uppkommer måste hanteras av användaren men tas också i viss mån upp av den vattenfyllda slangen.

Bertrand & Wiseman (2003) anger en annan formel för beräkning av reaktionskrafter hos dimstrålrör:

$$R = 0,22563 \cdot q \cdot \sqrt{p} \quad \text{Ekvation 17}$$

Reaktionskrafterna utgör en del av en övre gräns för vilka största tryck och flöden som är praktiskt användbara vid brandsläckning. Riktigt stora reaktionskrafter gör att strålröret inte längre kan hanteras av en ensam brandman utan denne tvingas ta hjälp av en kamrat.

Grimwood (1992) anger följande gränser för vad som är hanterbart för brandmän som avancerar in och sedan arbetar i en byggnad involverad i brand.

**Tabell 4. Största acceptabla reaktionskrafter (Grimwood, 1992)**

<b>En brandman</b>	266 Newton
<b>Två brandmän</b>	333 Newton
<b>Tre brandmän</b>	422 Newton

Dessa reaktionskrafter bygger Grimwood på genomförda tester. Varje extra brandman innebär alltså en ökning av den hanterbara reaktionskraften på drygt 25 %. För att uppnå ett stort flöde är det alltså effektivare med två strålrör som var har ett flöde som är hanterbart av en ensam brandman än ett strålrör med ett flöde som kräver insats av två brandmän. Dessutom sprider två strålrör vattnet över större yta än ett strålrör.

### 3.6.1 Jämförelse mellan ekvationerna

För att möjliggöra en jämförelse mellan Ekvation 15 (Särdqvist, 2002) och Ekvation 17 (Bertrand & Wiseman, 2003) samt för att beräkna de reaktionskrafter som uppkom i samband med de försök som ingick i arbetet med denna rapport, se exempelvis bilaga B – Tryckflödeskurvor, har reaktionskrafterna beräknats. Beräkningarna bygger på de flöden och strålrörstryck som uppmätts vid försöken och resultaten redovisas i Tabell 5. För beräkning av *reaktionskraft – fiktiv diameter* enligt ekvation 15 har ekvation 16 samt  $c=0,96$  använts.

Tabell 5. Beräknade reaktionskrafter

Strålrör	Reaktionskraft [N] (Ekv. 15)	Reaktionskraft - fiktiv diameter [N] (Ekv. 17)
Akron 1704, 115lpm	155	162
Akron 1704, 90lpm	151	158
Akron 1704, 50lpm	87	91
TFT Ultimatic F07	116	122
Unifire- All Pressure Gun	161	169
AWG pn 40	141	148
Protek #322	121	127
Akron 4802	146	153
Dld0	123	128
Rosenbauer Nepiro	149	156
Akron Turbojet	173	181
Fogfighter	183	192

Beräkningarna visar att ekvationerna visar en relativt god överensstämmelse. I inget fall når reaktionskrafterna upp till det värde, 266 N, som Grimwood anger som det största acceptabla för att hanteras av en brandman.

Lågtryckssystemen ger generellt sett större reaktionskrafter p.g.a. det högre flödet.

### 3.7 Strålbild

Enligt Handell (2000) som undersökt släckeffekten hos olika lågtrycksstrålrör, ger strålrör med högt strålrörstryck och en jämn strålbild en bättre släckeffekt än strålrör med högt flöde, lågt strålrörstryck och ojämna strålbild.

För att undersöka strålbilden hos högtrycksstrålrör gjordes därför strålbildsförsök på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut tillsammans med räddningstjänsten Landskrona. För mer detaljer om försöken, se bilaga D - Strålbildsförsök.

#### 3.7.1 Om försöken

Försöken gjordes med hjälp av ett 40 bars högtryckssystem monterat på ett släckfordon. Den centrumrullade slangen hade en inre diameter på 19 mm och var 80 m lång.

Försöken som bygger på strålrörstandarderna för lågtrycksstrålrör, SS 3500, har följts i alla avseenden utom just inställningar av strålrörstryck och flöde. Eftersom högtrycksstrålrören varierar så kraftigt i utformning kan inte flöde ställas in vid ett visst strålrörstryck. För att förutsättningarna skulle vara lika för alla strålrör valdes därför att samtliga strålrör skulle testas vid ett dämt pumptryck på 40 bar, d.v.s trycket på pumpen innan strålröret öppnats.

I standarden finns två krav på strålbilden för att denna ska vara så bred och samtidigt jämn som möjligt.

##### Fordringar spridd stråle

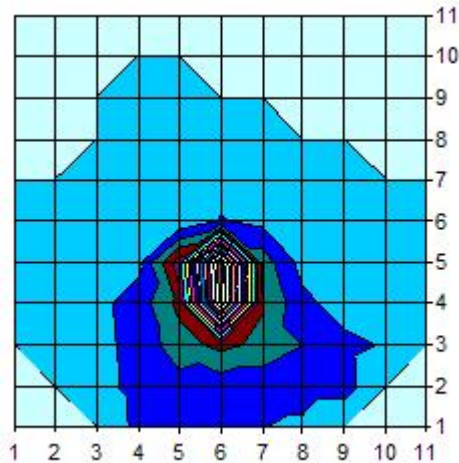
1.  $0,5 \cdot V_m < 0,1 \cdot \text{täckningsarean}$

(Strålen inte får vara för spridd i förhållande till den mängd vatten som kan levereras).

2.  $V_{\max} < 5 \cdot V_m$   
 (Skillnaden i var vattnet hamnar får inte vara för stor).

### 3.7.2 Försöksresultat

Inget av strålrören klarade av att uppfylla det första kravet, det vill säga att leverera tillräckligt mycket vatten över det som definierades som strålens täckningsarea. Däremot klarade alla utom ett strålrör av att möta det andra kravet, att skillnaden mellan var vattnet hamnade inom täckningsarean inte fick vara för stor.



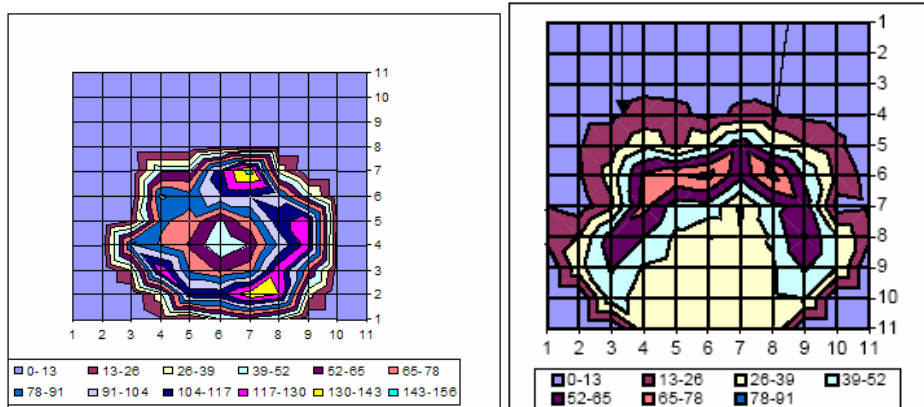
Figur 13. Strålbild som inte uppfyllde det andra kravet på samlad strålbild.

En generell observation som gjordes var att vattendimman ofta hade tappat mycket av sin rörelsemängd när den väl nått fram till mätställningen, varför resultatet t.ex. kunde påverkas av vind utifrån och hade för mätningens skull, kanske inte bästa möjliga hastighetsvektor in i mätrören. Ett kortare avstånd till mätställningen hade sannolikt gynnat resultatet.

Det observerades även att strålrörens strålbild var mycket mindre än vidden av mätställningen, varför noggrannheten i resultaten hade gynnats av om mätrören istället suttit tätare placerat över en mindre yta.

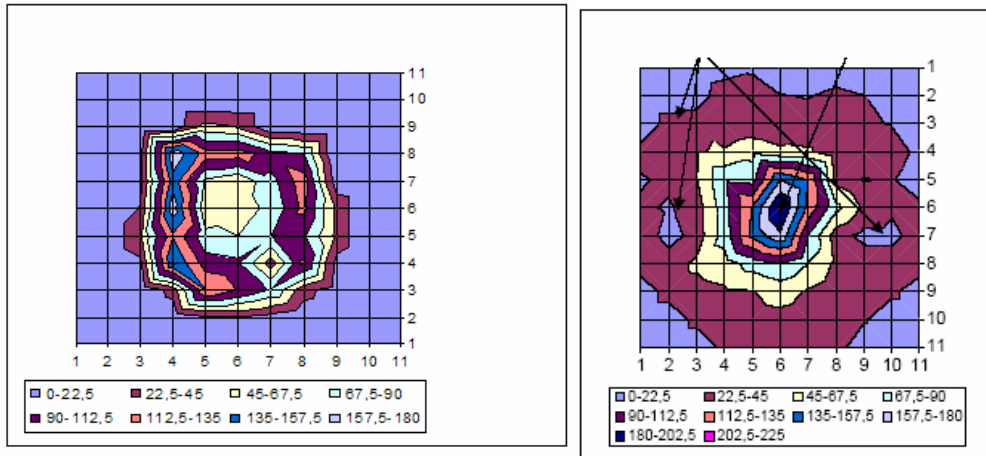
En korrekt och rättvis jämförelse av strålbilden mellan låg- och högtryckssystem blir svår att göra eftersom standarden är utformad just för lågtryckssystem. Nedan presenteras dock resultat från tre av de mätningar Handell gjorde 2000. Strålrören som nedan jämförs är av samma typ som de som användes i dessa försök med 40 bars högtryck.

#### Protek 322



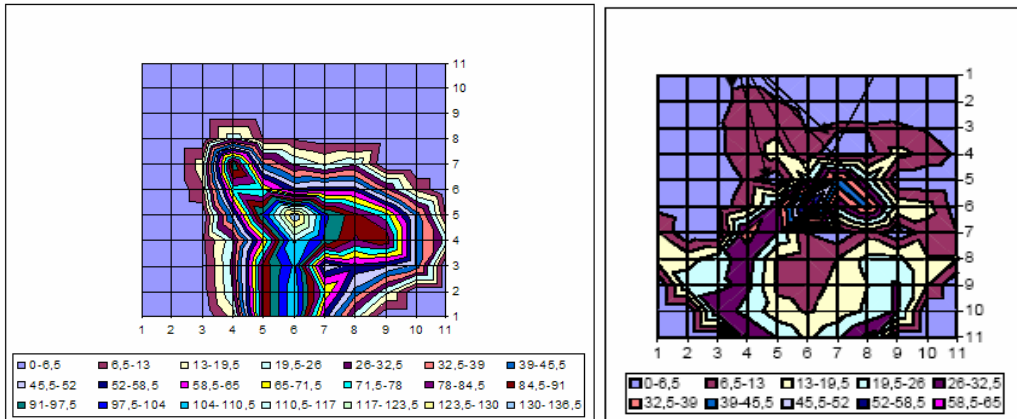
Figur 14. Till vänster högtryck, till höger lågtryck.

TFT Ultimatic



Figur 15. Till vänster högtryck, till höger lågtryck.

Unifire APG



Figur 16. Till vänster högtryck, till höger lågtryck.

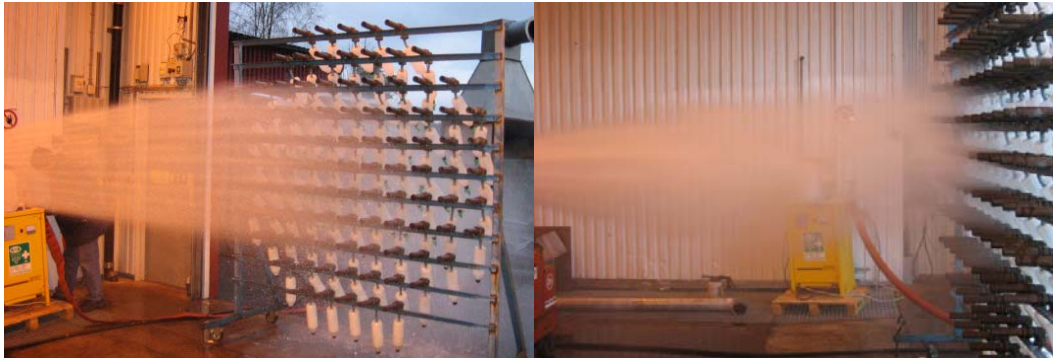
Övriga resultat enligt standarden:

Tabell 6. Resultat från mätningar.

Strålrör	Strålrörstryck [bar]	$V_{medel}$ [mm/min]	$V_{max}$ [mm/min]	Täckningsarea [m <sup>2</sup> ]	Krav 1	Krav 2
Dld0	28,5	56	204	1,2	nej	ja
Akron 1704	10,5	61	167	1,76	nej	ja
TFT Ultimatic F07	6,5 bar	76	176	1,72	nej	ja
Unifire APG	13	58	156	1,96	nej	ja
AWG pn 40	8,5	53	402	1,48	nej	nej
Protek #322	7,5	74	150	1,68	nej	ja
Akron 4902	9,5	85	207	1,48	nej	ja

Observera här att mätnoggränhet i strålrörstrycket endast kan ges med en noggränhet av ca +/- 2 bar.

Enligt befintlig standard skulle inte något av strålrören klara kraven på tillräckligt med vatten med avseende på täckningsarean. De flesta strålrören har dock godtagbar spridning, fördelning av vattentätheten inom täckningsarean (andra kravet).



Figur 17. Bilder från försöken. Till vänster TFT Ultimatic, till höger Dld0.

### 3.7.3 Slutsats om strålbild hos 40 bars högtryckssystem

Generella slutsatser om strålbilden hos högtrycksstrålrör är svåra att dra. Detta beror i huvudsak på två orsaker, dels är den befintliga standarden SS 3500 inte fullt ut tillämpbar på strålrör och system som jobbar med ett högre tryck än vanliga 6 bar på strålröret. Dels på att de strålrören som idag används till 40 bars högtryckssystem, väsentligt skiljer sig åt i utformning. Två av strålrören hade t.ex. strålrörstryck som är direkt jämförbart med strålrörstryck hos lågtryckssystem.

Slutsatser relativa till den standard, försöksuppställning och de strålrör som använts är att alla utom ett strålrör har tillräckligt jämn fördelning av vattnet inom den täckningsarean de ger. Däremot är den totala mängden vatten som levereras sett över täckningsytan för liten.

Enligt visuell bedömning hade strålröret Dld0, med det i särklass högsta strålrörstrycket, den jämnaste vattenfördelningen. Det går dock inte utifrån endast denna observation säga att högt strålrörstryck allena ger en jämn strålbild.

### 3.8 Beräkningsexempel

Med kännedom och kunskap om beskriven teori i kapitlet teknisk prestanda, kan många delar av ett släcksystem analyseras med avseende på olika egenskaper. Här ges ett exempel.

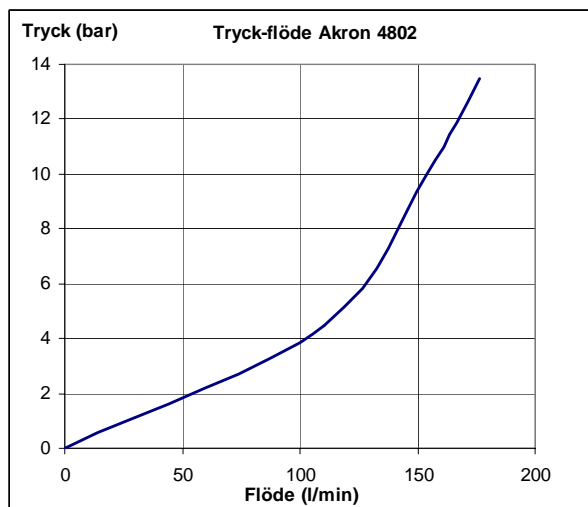
Arbetsgång:

- 1 Vilket flöde vill du ha på strålröret?
  - Kolla i diagram vilket strålrörstryck detta motsvarar för just ditt strålrör.
- 2 Dimensionera pumptrycket efter:
  - Hur lång slang har du?
  - Vilken diameter har slangen?
  - Vilken höjdskillnad är det från pump upp till brandrummet?

*Exempel:* 40 bar högtryck

Brandman kollar branden, bestämmer sig, vill ha 150 l/min på strålröret. Detta flöde vet han, med "sitt" strålrör, ger passande strålbild och brukar vara tillräckligt för att släcka denna typ av brand utan att ge onödiga vattenskador. Rökdykaren meddelar 150 l/min till pumpskötaren. Strålröret brandmannen använder är ett Akron 4802.

För detta strålrör har en tryck-flödeskurva sammanställts i ett diagram som sitter uppklistrat bredvid pumpreglaget på bilen. Från detta diagram utläser pumpskötaren vilket strålrörstryck som ger 150 l/min.



**Figur 18. Tryck-flödessamband över strålröret Akron 4802.**

Pumpskötaren utläser ca 9 bar. Sedan tar han/hon hänsyn till hur lång slang bilen har. I exemplet har de en 100 meter lång, 19 mm formstabil slang. För denna dimension och vid ungefärligt samma flöde har slangens k-faktor beräknats till ca 0,000013 (se bilaga E - Tryckfall i slang). Utan hänsyn till förluster över kopplingar, fås, med följande formel, följande tryckfall i slangen:

$$P_f = k \cdot l \cdot q^2 \quad [\text{bar}]$$

$$p_f = 0,000013 \cdot 100 \cdot 150^2 = 29 \quad [\text{bar}]$$

Pumpskötaren ställer då in (9+29) 38 bar på pumpen.

### 3.9 *Slutsatser teknisk prestanda*

- Tryckfallet per meter slanglängd ökar väsentligt då slangens inre diameter är cirka 25 mm eller mindre. Beräkningar på tryckfall kan slå mycket om de görs med dålig indata.
- Ett högtryckssystem med högt strålrörstryck är mindre känsligt för tryckfall på grund av insatser på hög höjd.
- Högtrycksstrålrör arbetar ofta utanför det område under vilken en viss tryckautomatik råder, vilket gör att strålbilden kommer att påverkas av pumptrycket.
- Medeldiameter kan anges på olika sätt och det är viktigt att vara medveten om vilken det är som avses.
- Lågtryckssystem har generellt sett större reaktionskrafter i strålrören.
- Reaktionskraften från de högtrycksstrålrör som testats i rapporten blir aldrig ohanterlig för den ensamme brandmannen
- Den svenska standarden för lågtrycksstrålrör (SS 35 00) är inte fullt ut tillämpbar på högtrycksstrålrör.





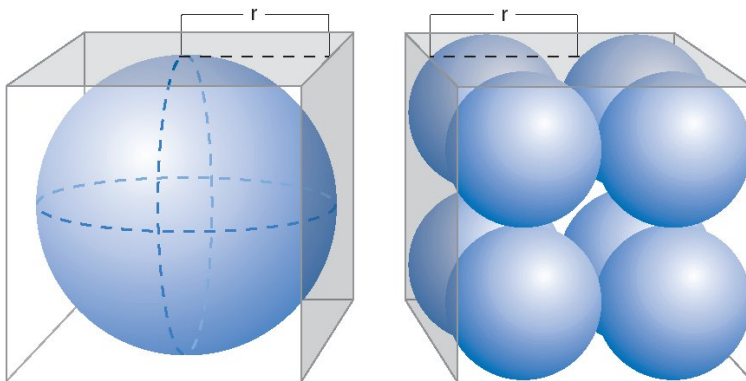
## 4 BRANDGASKYLNING

*Detta kapitel jämför förmågan till brandgaskylning mellan lågtryck och olika högtryckssystem. Jämförelsen baseras på litteraturstudier.*

Att kyla brandgaser räknas till ett av de fem huvudsakliga sätten att använda vatten vid brandbekämpning. De andra är att kyla (släcka) flammor, kyla bränsleytor som är eller inte än är involverade i branden samt förångning mot heta ytor för att inertera brandrummet. Brandgaskylning syftar främst till att förbättra miljön för brandmannen och eventuella skadade i den branddrabbade lokalen. Den bidrar dock även till att släcka en brandhärd genom att minska återstrålningen från de heta brandgaserna till de pyrolyserande bränsleytorna.

I utländsk litteratur kallas brandgaskylning med korta pulsationer ofta för ”3D-fog attack”. (Barnett & Grimwood, 2005).

Brandgaskylning framhålls ofta som den släckmetod där ett högtryckssystem har störst fördelar jämfört med ett lågtryckssystem. Denna effekt brukar ofta tillskrivas den droppstorleksminskning som ett ökat strålrörstryck ger. Fördelen med en mindre droppstorlek är att en spray med samma volym vatten får en totalt sett större yta mot brandgaserna.



**Figur 19. Förhållandet mellan ett klots diameter och volym. Volymen hos kloten i kuberna är densamma.**

Teoretiskt sett skall därför en spray som har mindre droppar förångas snabbare än en spray med grövre droppar. Ytterligare en anledning till att de mindre dropparna kan vara att föredra är att om dropparna är för stora kan de passera genom de heta brandgaserna utan att helt förångas (de kan då visserligen ha en positiv ytkylande effekt, men det hör inte till detta kapitel).

### 4.1 Genomförda försök

I tabell 7 presenteras några av de forskningsresultat från försök som syftar till att jämföra skillnader i släckeffekterna mellan låg- och högtryckssystem. Tabellen gör inte anspråk på att vara fullständig, då det finns svårigheter att komma över många försöksresultat (beskrivet i kapitlet Inledning - Metod). En svaghet i tabellen är att inga jämförelser funnits med högtryckssystem som arbetar på ca 100 bar eller högre. Detta beror sannolikt på att dessa system skiljer sig så väsentligt från konventionella lågtryckssystem att en jämförelse inte är alltigenom görlig samt att de är relativt sällsynt förekommande bland användare.

**Tabell 7. Presentation av genomförda försök.**

<b>Titel</b>	<b>Släcksystem</b>	<b>Resultat</b>	<b>Kommentar</b>
Försök med högtrycksbrandsläckning., 1997, Svensson & Lundström.	Lågtryck (Fogfighter) mot 40 bar högtryck (Akron 751).	Akron-röret förmår i vissa fall minska tid till släckning till hälften. Upp till 90% mindre släckvatten.	Operatörsoberoende släckförsök. Fixerade strålrör. Endast ett strålrörsfabrikat. Endast 40 bars högtryck.
The use of high pressure and low pressure pumps with hose reels systems., 1990, Rimen.	18 st olika högtrycksstrålrör (modell äldre). Strålrörstryck varierar från 4,2 – 35 bar.	Kunde inte se någon tydlig skillnad. Provade 18 strålrör. Största skillnad var när brandman fick arbeta aktivt med strålröret.	Operatörsoberoende. Strålrören fästa på en oscillerande rigg.
Fire tests in a large hall, using manually applied high- and low-pressure water sprays., 2001, Svensson & Särdaqvist.	Lågtryck (Protek #366) mot 40 bar högtryck (Akron Force Style 751)	Högtrycket hade bättre brandgaskylande effekt vid lägsta flödet (115 l/min), än lågtrycket vid samtliga flöden. Temperatursänkningen vid högtryck nådde både lägre nivåer och gick snabbare.	Operatörsberoende. Brandmän som med svepande rörelser kylde brandgaserna.

#### 4.2 *Kommentarer av försöksresultat*

Vad avser den brandgaskylande effekten tyder de svenska resultaten på att högtryckssystemen har en bättre kylande effekt än lågtryckssystem, detta även då ett lägre flöde användes hos högtryckssystemen och ett högre flöde hos lågtryckssystemet. Flödet har dock aldrig understigit 115 liter/minut. Rimens resultat visar dock inte detta. Till detta kan finnas flera förklaringar. Dels kan de positiva effekterna i de svenska resultaten möjligen tillskrivas de specifika strålrören eftersom det endast har använts ett typ av strålrör för hög- respektive lågtryckssystem vid de olika försöksserierna. Dels kan Rimens svaga resultat förklaras av att han hade ganska dåliga strålbilder. Detta i sin tur skulle kunna bero på att de strålrör som då testades trots allt är 15 år gamla idag. Att släckeffekten blev just så mycket större då brandmannen aktivt släckte talar också för att Rimens försöksrigg i kombination med den svaga strålbilden inte träffade brandgaserna på ett ändamålsenligt sätt.

#### 4.3 *Slutsatser brandgaskylning*

Vid utvärdering av den brandgaskylande effekten hos lågtryckssystem och högtryckssystem med ca 40 bar på pumpen fanns i svenska tester att högtryckssystemet klarade av att sänka brandgasernas temperatur mer och snabbare än ett lågtryckssystem med motsvarande eller högre vattenflöde. Försök utförda utomlands visar att det sätt brandmannen arbetar med strålröret är viktigare än skillnaden mellan strålrörstryck. Sannolikt bör dock de skillnader som fås i de svenska försöken även kunna ses om brandmannen aktivt får arbeta med strålrören på för systemet optimalt sätt.

Val av strålrör förefaller även vara en icke försumbar parameter för att till fullo åtnjuta fördelarna hos ett högtryckssystem.

För att bäst dra fördel av högtryckets brandgaskylande egenskaper är det därför viktigt att arbeta aktivt med strålröret.

Vad gäller förmågan till brandgaskylning hos högtryckssystem med drygt 100 bars tryck har önskad forskning inte hittats.

Sammanfattat:

- Högtryck med ca 40 bars pumptryck (och högt strålrörstryck) sänker brandgasernas temperatur snabbare, till lägre temperatur och med mindre vatten än konventionella lågtryckssystem, förutsatt att lämpligt strålrör används.
- Det är viktigt att arbeta aktivt med strålröret för att få bästa brandgaskylande effekt.
- Val av strålrör förefaller påverka kylningsförmågan även vid liknande strålrörstryck.



## 5 FÖREBYGGANDE YTKYLNING

*Detta kapitel jämför förmågan till förebyggande ytkylning av varma ytor mellan lågtryck och olika högtryckssystem. Jämförelsen baseras på litteraturstudier.*

Med förebyggande ytkylning menas att kyla ytor ännu inte involverade i branden för att skydda dessa mot infallande strålning och därigenom upprätta en begränsningslinje mot brandspridning. Detta görs typiskt mot en närliggande väggfasad.

Det finns flera faktorer som påverkar en sprays förmåga till kylning av ytor. Dessa är det applicerade flödet, målytans struktur, vattnets hastighet, dropparnas storlek, vattnets temperatur och ytspänning samt eventuell tillsats av retardant (vanligtvis skum för att förbättra vidhäftningsförmågan och sänka ytspänningen).

En analys av de faktorer som påverkar en sprays förmåga till ytkylning görs i två skalnivåer, mikro och makro.

### 5.1 Mikroskala

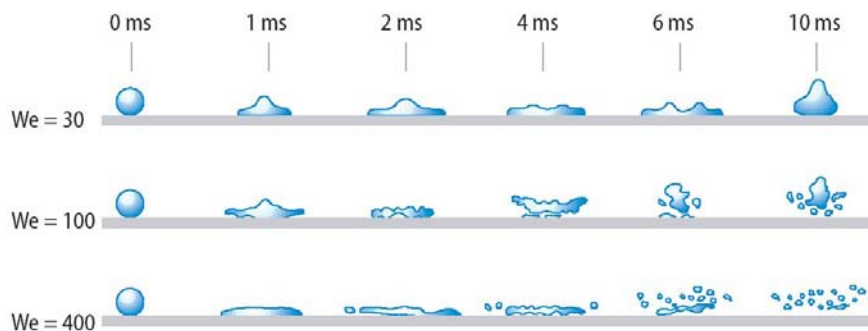
På denna nivå analyseras hur sprayens droppar beter sig då de träffar en yta.

#### 5.1.1 Webers tal

*Webers* tal är ett dimensionslöst tal med vars hjälp man kan beskriva förhållandet vid en droppes kollision med en plan yta. *Webers* tal beräknas med hjälp av ekvation 18. (Särdqvist, 2002).

$$We = \frac{\rho_v \cdot v_d^2 \cdot d_d}{\sigma} \quad \text{Ekvation 18}$$

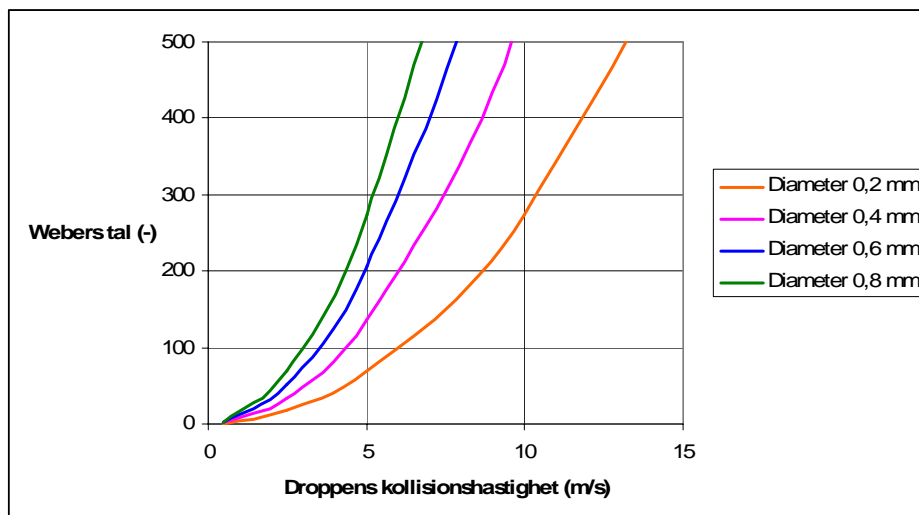
Ett högt *Webers* tal ger en bättre utbredning av droppen, vilket i sin tur ger en snabbare värmetransport från väggen till droppen. Exempel på hur droppen beter sig vid *Webers* tal på 30, 100 och 400 visas nedan i Figur 20.



**Figur 20. Droppens utbredning vid olika Webers tal.**

För att på en mikronivå jämföra enskilda droppar från låg- och högtryckssystem måste ett rimligt värde på dropparnas hastighet antas. Mindre droppar som man i regel får från ett högtryckssystem, har vid samma flöde en högre initial hastighet än droppar från ett lågtryckssystem men bromsas upp snabbare av luftmotståndet än stora droppar gör. För att kunna bestämma dropparnas hastighet på ett visst avstånd från strålröret måste

luftmotståndets inbromsande verkan kvantifieras. Detta har inte gjorts i denna rapport. I figur 21 framgår det, liksom i ekvation 27, att hastigheten är viktigare än diametern för att var enskild droppe ska få en så snabb utbredning som möjlig.



Figur 21. Droppdiametrar och kollisionshastigheter för Webers tal upp till 500.

Här framgår det att en droppe med diametern 0,2 mm behöver ha dubbelt så hög hastighet som en droppe med diametern 0,8 mm för att ha samma utbredningsförlopp. För att uppnå ett Webers tal 400, krävs en lägsta hastighet om cirka 12 m/s.

Det bör påpekas att Webers tal inte är en algebraisk parameter varför det inte går att summera den för en samling droppar av sammanlagt samma volym som en enskild droppe med visst Webers tal.

$$Weberstal[en droppe \text{ à } 0,8mm \text{ diameter}] \neq \sum_1^{64} Weberstal_{enskild droppe \text{ à } 0,2mm \text{ diameter}}$$

Med kännedom om enskilda droppars hastighet på ett visst avstånd från munstycket, torde det vara möjligt att beräkna på vilket avstånd från en yta den snabbaste ytkylningen kan ges. Detta lämnas outrett i denna rapport.

### 5.1.2 Leidenfrosttemperaturen

En annan faktor som påverkar vattnets kylförmåga på droppstorleksnivå är temperaturen på den ytan som ska kylas. Är ytan från början för varm så bildas ett skikt av vattenånga mellan droppen och den heta ytan som hindrar värmeledning mellan dessa. Denna temperatur kallas *Leidenfrosttemperaturen*. (Särdqvist, 2002) För metaller ligger denna temperatur på ca 300°C.

Då väggens temperatur, innan vatten påförts, inte beror av vilken storlek dropparna har som kommer att påföras, berörs inte leidenfrosttemperaturen vidare i denna rapport.

## 5.2 Makroskala

I en makroskala lyfts fokus från ytnivå till flödets roll för kylning av en yta.

Inte helt oväntat har flödets storlek större betydelse än sprayens utseende vid kylning av en yta. För den mest effektiva kylningen skall en sammanhängande film av vatten täcka hela väggen. Detta uppnås lättare på en yta av grovkornigare struktur (Lundqvist, 1991). För att så effektivt som möjligt utnyttja det tillgängliga flödet skall detta vara precis så stort att allt det applicerade vattnet förångas. Är vattenpåföringen för kraftig kan väggytans temperatur sjunka under 100°C varpå förångningen upphör. I detta läge utnyttjas inte vattnet optimalt och risken för vattensador är överhängande. Följande exempel från Särndqvist (2002) illustrerar skillnaderna mellan kyleffekten då vattnet förångas eller inte.

Den absorberade effekten av icke förångat vatten ges av:

$$Q_v = \dot{m}_v \cdot c_{p,v} \cdot (T_{\text{efter}} - T_{\text{före}}) \quad \text{Ekvation 19}$$

Förångas dessutom vattnet ges följande kyleffekt:

$$Q_v = \dot{m}_v \cdot L_v + \dot{m}_v \cdot c_{p,v} \cdot (100 - T_{\text{före}}) \quad \text{Ekvation 20}$$

*Exempel:* Om vattnets temperatur från början är 20°C och påföringen är 1 l/min/m<sup>2</sup> ger detta kyleffekten:

$$Q_v = (1/60) \cdot 4,18 \cdot 10^3 (100 - 20) \approx 5600 \text{ W/m}^2 \approx 5,6 \text{ kW/m}^2$$

Med förångning av vattnet blir den absorberade effekten istället:

$$Q_v = (1/60) \cdot 4,18 \cdot 10^3 (100 - 20) + 2260 \cdot 10^3 \cdot (1/60) \approx 43300 \text{ W/m}^2 \approx 43 \text{ kW/m}^2$$

Det vill säga, tillåts förångning av vattnet fås nästan 8 gånger så effektivt vattenutnyttjande. I dessa fall är den nödvändiga vattenpåföringen i storleksordningen 0,1 l/m<sup>2</sup>min beroende på ytskiktets struktur, värmeledningsförmåga, densitet och värmekapacitet. Det är dock vanligt att väggtemperaturer över 100°C inte gärna tillåts varför ett riktvärde istället är 1 l/m<sup>2</sup>min.

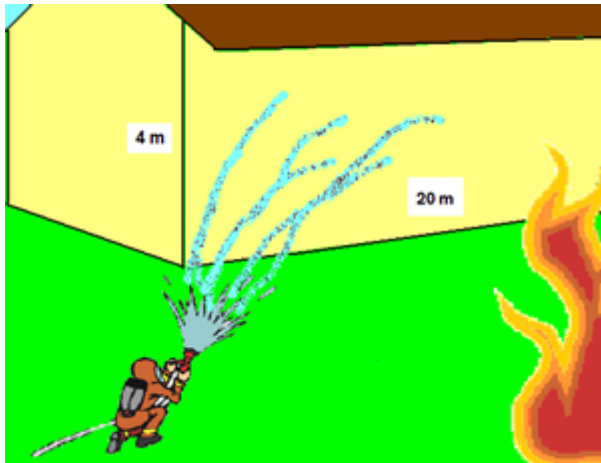
### 5.2.1 Jämförelse mellan systemen

För att i förebyggande syfte kyla en yta behövs det som nämnts ovan en påföring av i storleksordningen 1 l/m<sup>2</sup>min. Ett lågtryckssystem med konventionell smalslang kan leverera upp till 300 l/min (och ibland lite mer) och 40 bars högtryckssystem kan, beroende på strålrör, leverera upp till 230 l/min (Svensson m.fl., 1997). Skärsläckaren med drygt 300 bars pumptryck levererar upp till 30 l/min respektive 40 l/min för den fordonsmonterade skärsläckaren (SRV, 2001a). Släcksystemet Fireexpress med ett fast tryck på 34 bar, levererar 32 l/min.

Med en nödvändig påföring av 1 l/m<sup>2</sup>min skulle ett lågtryckssystem teoretiskt kunna kyla en yta om 300 m<sup>2</sup> per minut. Ett 40 bars högtryckssystem skulle med samma resonemang klara av att kyla en yta på upp till 230 m<sup>2</sup> per minut och drygt 100 bars högtryckssystem, 30 m<sup>2</sup> per minut.

Med sådana siffror blir det uppenbart att det, i en jämförelse mellan lågtryckssystem och 40 bars högtryckssystem, inte är mängden tillgängligt vatten som är begränsande, utan snarare förmågan att fördela vattnet över en så stor yta. Denna förmåga påverkas starkt av den

tillgängliga kastlängden och att ytan faktiskt ska täckas in, på en minut och samtidigt bestå av en heltäckande film.



Den spridda strålen har sin största utbredning på ca 3 meter. För att täcka in ytor motsvarande 300 och 230 m<sup>2</sup> måste därför en sluten stråle som har kastlängder i storleksordningen av 30 meter användas. Att med sluten stråle under en minut, upprätthålla en sammanhängande film av vatten över ytor av dessa storlekar, kan liknas vid att måla en ladugårdsdörr med en smal pensel längst ut på en bambustav.

Figur 22. Kylning av icke brandinvolverad yta.

För ett högtryckssystem med drygt 100 bar på pumpen, eller där flödet av annan anledning är starkt begränsad, blir dock förmågan till förebyggande kylning av ytor starkt begränsad

### 5.3 Slutsats förebyggande ytkylning

Viktigaste parametrar för förmågan till förebyggande ytkylning är flöde och kastlängd. En tumregel är att det maximala flöde ett slangsystem och strålrör kan ge, direkt motsvarar den yta som kan kylas. Mellan lågtryckssystem och 40 bars högtryckssystem är flödena så stora att det snarare är ett fördelningsproblem. För högtryckssystem med ca 100 bar på begränsar dock det låga flödet storleken på de ytor som förebyggande kan kylas.

- Lågtryckssystem och 40 bars högtryckssystem har jämförliga ytkylningsegenskaper då problemet snarast är att fördela vattnet.



## 6 DIREKT ANGREPP

---

*Detta kapitel jämför förmågan till direkt angrepp av brandhärden mellan lågtryck och olika högtryckssystem. Jämförelsen baseras på litteraturstudier.*

---

Brandsläckning är i grund och botten ett hantverk och förr eller senare måste inträngning göras i en byggnad som brinner, om inte annat så för så kallad eftersläckning. Endast två alternativa förhållningssätt finnes till inträngning:

1. Att låta byggnaden brinna ner till grunden – ”LSB”.
2. Att från utsidan dränka huset i vatten.

Det är ett känt faktum att så kallad ”precisionsbombning” är en myt oavsett om det gäller militära manövrar eller räddningsoperationer.

Med direktangrepp menas att direkt angripa bränsleytorna för att därigenom släcka branden. Förfarandet är i sitt utförande enkelt men bygger teoretiskt sett på flera mekanismer som kan verka komplexa och svåra att skilja från varandra. Mot mindre bränder är de ofta de enda vidtagna åtgärderna. Direktangreppet på brandhärden har två släckande mekanismer, dels att vattnet kyler och slutligen släcker flammorna och dels att vattnet kyler de i branden involverade bränsleytorna så att pyrolysen avstannar. Även om ett släckangrepp inleds med brandgaskylning är det ett direkt angrepp som ”avgör fajten”. Den vidtas mot samtliga bränder i något skede.

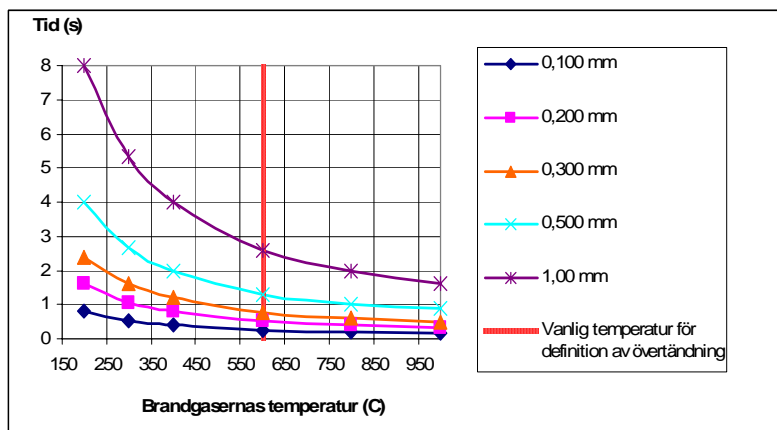
Följande fem huvudsakliga parametrar påverkar förmågan till brandsläckning vid direkt angrepp.

- Droppstorleken
- Flödet
- Tid till angreppet börjar
- Åtkomligheten
- Strålbilden

Beroende på om det är ett lågtrycks- eller högtryckssystem som används, varierar dessa parametrar och därmed även förmågan till direktangrepp.

### 6.1 Droppstorlek

Droppstorleken är av särskilt stor betydelse vid brandgaskylning (se kapitel 4) där dess roll är relativt väl teoretiskt klarlagd. Vid direkt angrepp kan större droppar vara att föredra om angreppet måste göras från ett sådant avstånd att dropparna måste passera heta brandgaser. I ett sådant läge finns det risk att små droppar från högtryckssystemet förångats innan de når fram.



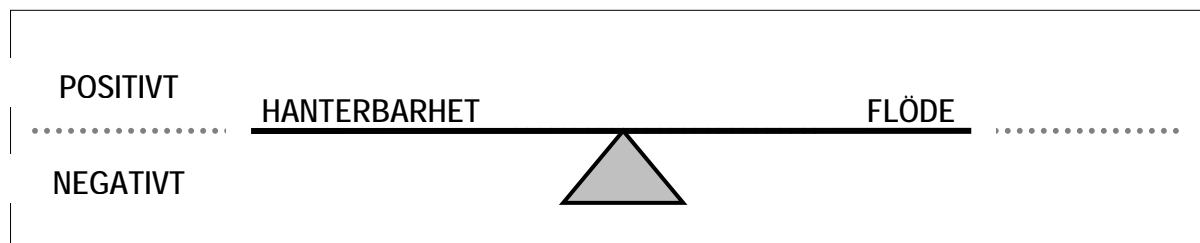
Figur 23. Dropparnas livstid i heta brandgaser.

Denna fördel hos lågtrycket åts dock upp om inte brandmannen direkt hindras från att fysiskt avancera fram till bränsleytan.

## 6.2 Flödet

Flödet i högtryckssystem är som tidigare nämnts generellt sett lägre än i lågtryckssystem. Grovt kan det sägas att sambandet högre tryck innebär lägre flöde. Flödet i sin tur påverkar slangsystemets hanterbarhet.

### 6.2.1 Reaktionskrafter och slangdiameter



Figur 24. Relationen mellan flödet och slangsystemets hanterbarhet.

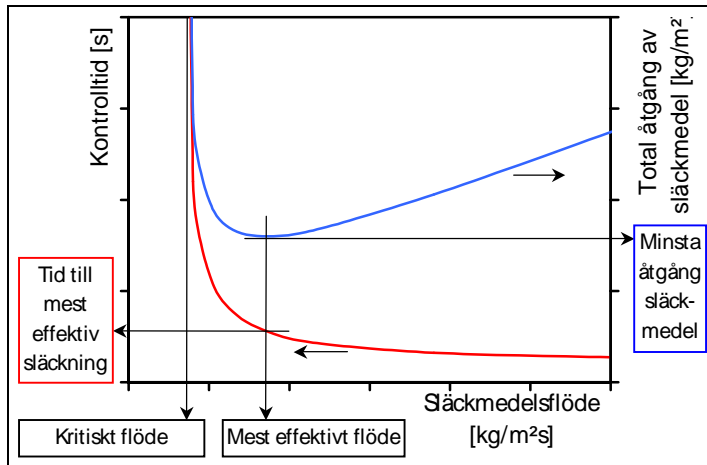
Flödet måste vara tillräckligt stort för att möjliggöra en framgångsrik brandbekämpning och för att trygga brandmännens säkerhet, mer om det senare i kapitlet om säkerhet. Reaktionskrafterna och/eller slangdiameteren ökar i sin tur i takt med att flödet ökar. Stora reaktionskrafter och en stor slangdiameter verkar menligt på rökdykarens möjligheter att på ett effektivt sätt använda sitt verktyg, strålröret, mot branden vilket i sin tur ökar kraven på flödet då brandmannen inte ges möjlighet att använda vattnet på effektivaste sätt. Ett lämpligt flöde (per strålrör) är alltså inte för stort och inte för litet. Vilket flöde som krävs påverkas av brandens storlek och placering, den tillhandahållna utrustningen, brandmannens utbildningsnivå etc. varför det lämpliga flödet varierar från situation till situation.

Relationen mellan reaktionskrafter och slangdiameter är att ett ökat flöde i en slang med en viss diameter medför en större reaktionskraft. Detta kan i viss mån undvikas genom att en slang med en större diameter väljs. En större slangdiameter ger en lägre hastighet för vattnet vilket minskar reaktionskrafterna.

### 6.2.2 Nödvändigt flöde

Vilket flöde som krävs för att möjliggöra en framgångsrik brandbekämpning är vetenskapligt studerat, både i experiment och i studier av verkliga bränder, se bland annat Särdaqvist & Holmstedt, 2001. Utifrån dessa studier kan det kritiska flödet bestämmas. Det *kritiska flödet* är det flöde som släcker branden men gör det på mycket lång tid, teoretiskt sett oändligt lång tid.

*Hur stort är då det optimala flödet? Frågan är egentligen för stor för att ett tillfredställande svar ska kunna ges inom ramen för denna rapport. Men, här ges ändå en ansats till svar och ett par relevanta frågor lyfts.*



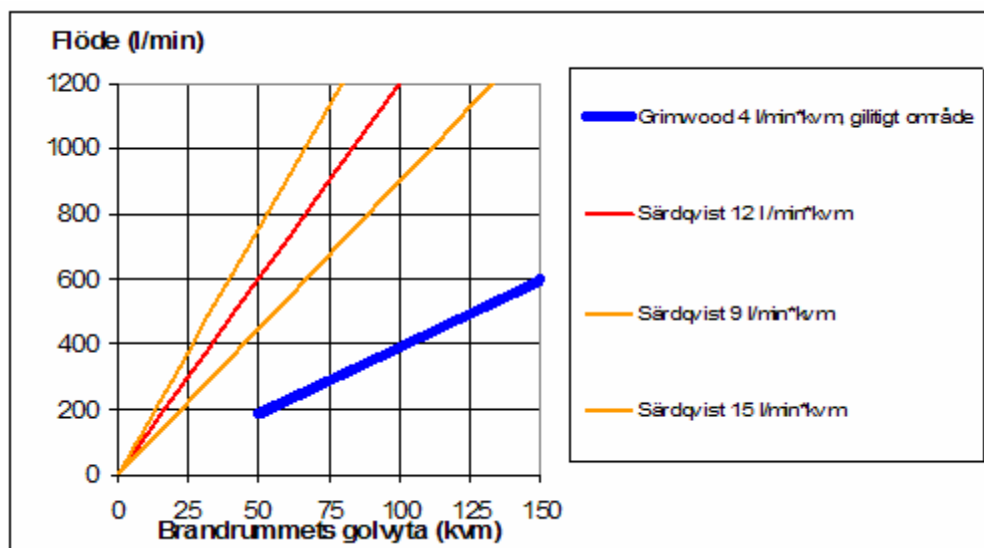
Figur 25. Kritiskt flöde, kontrolltid och total mängd använt vatten enligt Svensson & Särdaqvist (2001).

Om flödet ökar över det kritiska flödet släcks branden på kortare tid och den totala volymen nödvändigt släckvatten minskar. Vid det *optimala flödet* (mest effektiva) är volymen nödvändigt släckvatten den minsta möjliga. Ökas flödet över detta ökar även den totala volymen använt släckvatten. I detta läge används inte släckvattnet effektivt och risken för sekundärskador är stor.

Två andra skäl till att flödet inte bör vara för stort är att det dels kan ge en ökning av ångbildningen vilket gör att rökdykare måste iaktta en försiktigare framryckning för att undvika värmegenomslag och brännskador och dels kan den tillgängliga mängden vatten vara begränsad, exempelvis genom att vattenförsörjningen ännu inte är tryggad.

Har högtryckssystemen tillräckligt flöde för att släcka de bränder räddningstjänsten ställs inför? Särdaqvist (2000) anger, efter studier av verkliga bränder i London, det optimala flödet för brandsläckning till 12 (9 – 15)  $\text{l/m}^2\text{min}$ . Grimwood (2005) rekommenderar, efter studier av 100 bränder i London 1989, ett taktiskt flöde på 4  $\text{l/m}^2\text{min}$ . Detta flöde är giltigt inom det ungefärliga intervallet 50 – 600  $\text{m}^2$ . Vidare gäller flödet en brandbelastning motsvarande ett kontor och för en takhöjd på 2,5 meter. Vid högre brandbelastningar bör flödet ökas med 50 % till 6  $\text{l/m}^2\text{min}$ .

Dessa båda flödesrekommendationer är inritade i figur 26 och de uppvisar en dålig överrensstämmelse. Grimwoods rekommendationer medför genomgående ett lägre flöde än Särdaqvists vars studie fått kritik för att ge en 40 % överskattning på grund av problem att räkna fram det faktiskt använda flödet (Barnett & Grimwood, 2005 samt Bertrand & Wiseman 2003). Av denna anledning används inte Särdaqvists flöde i fortsatt resonemang.



Figur 26. Erfoderligt flöde beroende på brandrummets storlek.

I dessa flödesrekommendationer ingår inte bara tillräckligt vatten för att släcka en viss bränsleyta, utan även behov av vatten för att kyla brandgaser under inträngning i byggnad. Det är bl.a. detta Grimwood vill lyfta fram genom att kalla "sitt" flöde för taktiskt flöde.

Vilket flöde behövs då i verkligheten i Sverige? Återigen är detta en stor fråga som om den ska besvaras analytiskt, kräver en avgränsad men gedigen riskanalys. Vad dessa resultat pekar mot försöker följande resonemang reda ut.

Enligt Statistiska CentralByrån (bilaga F - Statistik bostads- och hyresrätter) är den genomsnittliga storleken på en hyresrätt 68 m<sup>2</sup> och 74 m<sup>2</sup> för bostadsrätter i sju stora kommuner. Då lägenheter utförs som egna brandceller (BFS 1993:57) kan i *värsta* fall hela lägenheten brinna när räddningstjänsten inleder en insats. I ett sådant läge krävs enligt Grimwood minst 270-296 l/min för att släcka branden (inklusive en säkerhetsfaktor av okänd storlek). Dessa flöden kan idag levereras av ett lågtrycksstrålrör.

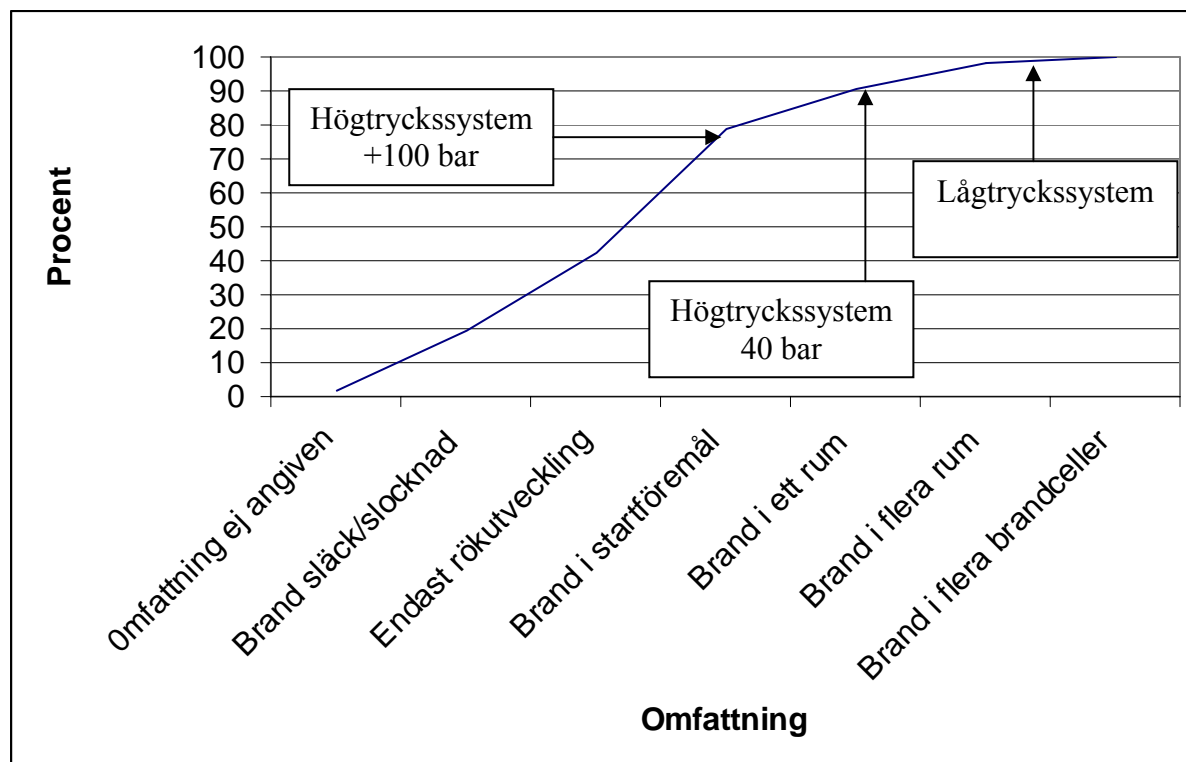
Tabell 8. Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst (Räddningstjänst i siffror 1998-2004.

År	Brand i flera brandceller (%)	Brand i flera rum (%)	Total andel brand i mer än ett rum (%)	Brand i ett rum (%)	Total andel brand i ett rum eller mer (%)
1998	2	7,3	9,3	12,1	21,4
1999	1,8	7,1	8,9	12,5	21,4
2000	1,5	7,2	8,7	10,6	19,3
2001	1,6	7,7	9,3	11,1	20,4
2002	1,9	8	9,9	10,6	20,5
2003	2	8,2	10,2	10,8	21,0
2004	1,7	8,1	9,8	11,0	20,8
I snitt	1,8	7,7	9,44 %	11,2	20,69 %

Ett högtryckssystem med 40 bar på pumpen kan leverera upp till cirka 230 l/min vilket enligt Grimwood innebär att rum upp till 57 m<sup>2</sup> kan släckas. Enligt tabell 8 ovan är cirka 90% av bränderna i Sverige begränsade till enstaka rum vid räddningstjänstens ankomst. Under förutsättningen att "enstaka rum" inte är större än 57 m<sup>2</sup> klarar således flödet från ett

högtryckssystem med 40 bar på pumpen att släcka 90 % av bränderna om utgångspunkten är Grimwoods siffror. Detta gäller dock givetvis de kombinationer av slang och strålrör som faktiskt kan ge flöden på drygt 200 l/min, vilket inte alltid är fallet (se tabell 12 i Bilaga B – Tryck-flödeskurvor.)

Högtryckssystem med mer än 100 bar på pumpen, eller snarare, lägre flöde än 40 bars system, har dock i regel så lågt flöde att ett direkt angrepp mot bränsleytorna inte är görligt annat än mot mindre bränder. Mindre bränder i fallet brand i byggnad kan antas motsvara kategorierna; endast rökutveckling, brand i startföremål, omfattning ej angiven samt branden släckt/slocknad. Dessa kategorier motsvarar i snitt 80 % av insatserna, se tabell 8.



Figur 27. Brandens omfattning och släcksystemets kapacitet.

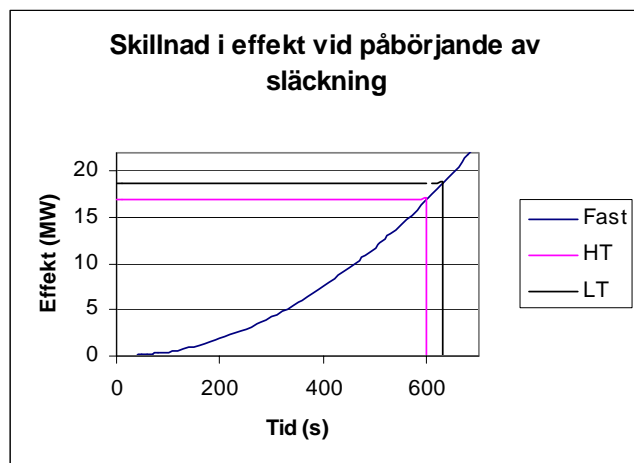
I figur 27 redovisas brändernas omfattning och andel av respektive omfattning (Räddningstjänst i siffror 1999). I figuren är inritad den omfattning respektive system kan antas hantera. Lågtryckssystemet kan inte antas hantera 100 % av alla bränder, då vissa större bränder får hanteras även med andra sätt än vattensläckning, exempelvis bortschaktning av brinnande material.

### 6.3 Tid till angrepp börjar

Alla bränder är små i början. Ett tidigt angrepp på branden kräver mindre resurser än ett senare angrepp. Högtryckssystem minskar generellt tiden från ankomst till skadeplats till brandsläckningens påbörjande, se kapitel hanterbarhet. Detta innebär att högtryckssystem kräver mindre vattenresurser än lågtryckssystem sett ur enbart denna synvinkel. Att precis kvantifiera denna skillnad är inte möjlig, men en uppskattning kan göras genom användandet av en  $\alpha^2$ -kurva. Denna kurva är en modell för hur brandens effekt ökar med tiden och bygger på antagandet att brandens effekt ökar med kvadraten av tiden. Kurvan är ursprungligen inte

verifierad för effektutvecklingar på flera Megawatt, men den fungerar här som en modell för att påvisa värdet av ett tidigt ingripande.

För denna kurva användes  $at^2$ -kurvan *fast*, snabb, tillväxt, för att motsvara en brand i skola, hotell, kontor eller liknande (Karlsson & Quintiere, 2000).



Figur 28. Schematisk beskrivning av vikten av snabb insats.

Resultatet av den grova uppskattningen blir att en tidsvinst på 30 sekunder motsvarar en minskning av effekten på nästan 2 MW givet att anspännings- och framkörningstid ligger runt knappt 10 minuter.

### 6.4 Genomförda försök

Ingen litteratur har hittats där högtrycks- och lågtryckssystem jämförs mot varandra i försök som kan definieras röra sig om enbart direkt släckning. Många av de jämförande försök som har genomförts och dokumenterats, exempelvis Rimen, (1990), Lundström och Svensson, (1997), innehåller en betydande del av brandgaskylning som inte kan särskiljas från den direkta släckningen. Svensson och Särdaqvist (2001) redovisar resultat som är användbara i en jämförelse av effektiviteten i direkt släckning mellan hög- och lågtryckssystem. I dessa försök, utförda på Stockholms Brandförsvars övningsanläggning i Ågesta, sker en övervägande del av släckningen inom ett avstånd av tre till sex meter. Försöken består i korthet av manuell släckning av lastpallar med hög- och lågtryckssystem med olika flöden. Från dessa försök dras slutsatsen att med hänsyn tagen till både brandgaskylning och direkt släckning är högtryckssystemet i behov av endast 2/3 av vattenmängden som ett lågtryckssystem kräver för att nå samma släckeffekt.

### 6.5 Slutsatser direkt angrepp

Ett entydigt svar på förmågan vilket släcksystem som är bäst vid direkt angrepp går inte att ge. I en verklig situation handlar det sällan uteslutande om brandgaskylning eller direkt angrepp, varför slutsatser inte kan dras om förmågan till det ena utan att kommentera den andra.

Styrkan hos lågtryckssystemet är att det högre flödet och de ofta, något större droppstorlekarna ger en bättre förmåga att tränga igenom heta brandgaser och träffa en bränsleyta.

Ett högtryckssystem med cirka 40 bar på pumpen ger generellt sett ett högre munstyckstryck och därmed åtgår en större andel av vattnet till kylande av brandgaser. En grov förenkling blir därför att detta system först kyler brandgaserna och i nästa skede kan användas till direktangrepp.

Högtryckssystem som arbetar vid än högre tryck torde fungera ungefär som vid det lägre högtrycket, men att det i dessa situationer är tveksamt om flödet är tillräckligt stort för ett direktangrepp mot en större brandhärd (Särdqvist, 2002).

- Lågtryckssystemens större droppar ger en längre kastlängd genom heta brandgaser, och ytkylning av pyrolyserande ytor kan därför åstadkommas från ett större avstånd.
- Om det kan antas att ett vanligt svenskt lägenhetsrum inte är större än 57 m<sup>2</sup> så räcker flödet från ett 40 bars högtryckssystem (enligt Grimwood) till att släcka cirka 90 % av bränderna som svenska räddningstjänster ställs inför.
- Flödet hos högtryckssystem med ca 100 bar klarar sannolikt av att släcka upp till 80 % av bränderna svenska räddningstjänster larmas till. Däremot har de enligt siffrorna Grimwood anger, inte ett tillräckligt flöde för att medge invändig släckinsats i bostadsrum.





## 7 SÄKERHET

---

---

*I detta kapitel belyses hur säkerheten för användare påverkas av vilket brandsläckningssystem som används. De säkerhetsmässiga aspekterna styrs till stor del av Arbetsmiljöverkets författningssamling 1995:1.*

---

---

Val av släcksystem påverkar dels säkerheten för användarna och dels säkerheten för tredje man involverad i branden. I detta kapitel berörs först och i huvudsak användarens säkerhet.

En jämförelse med avseende på säkerhet mellan släckssystem med olika tryck kan göras med hänsyn till följande tre aspekter:

1. Rutiner och gällande rökdykarreglemente.
2. Säker tillgång till nödvändig mängd vatten.
3. Värmegenomslag vid ångexpansion.

### 7.1 Rutiner och gällande rökdykarreglemente

Rutinerna kring rök- och kemdykning styrs i grund och botten av Arbetsmiljöverkets (dåvarande Arbetarskyddsstyrelsens) författningssamling, AFS 1995:1.

#### 7.1.1 Lagstadgad grund

I AFS 1995:1 ges i 2§ följande definition på rökdykning: ”Inträngande i tät brandrök, vanligen inomhus, för att rädda liv eller bekämpa brand eller liknande.” Enligt 16§ föreskrivs ”Vid brand eller risk för brand skall rök- och kemdykarna för sitt skydd ha säker tillgång till släckvatten.”

AFS 1995:1 har medfört att följande grundbemanning idag tillämpas som praxis:

- En räddningsledare
- En rökdykarledare
- Två rökdykare
- En pumpsötare (särskilt utsedd person med ansvar för att ge rökdykarna och rökdykarledaren säker tillgång till vatten).

#### 7.1.2 Föreskrifter och rutiner

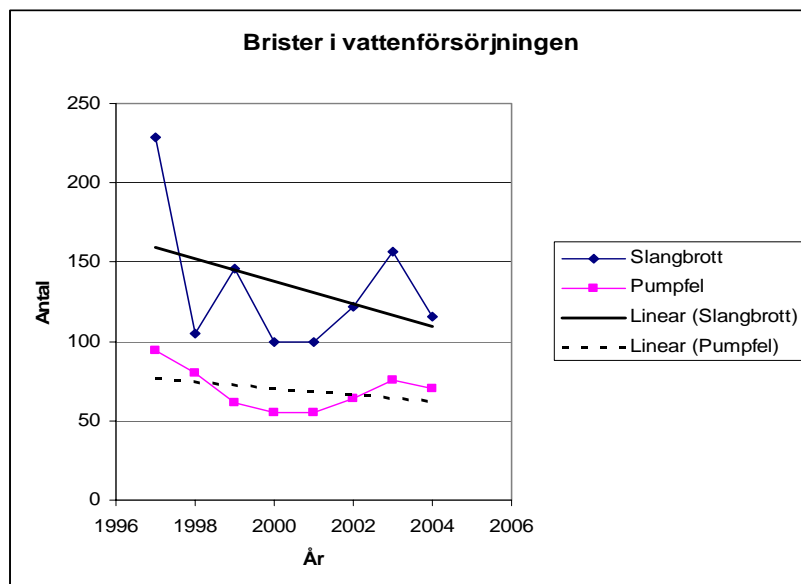
Den svävande formuleringen ”säker tillgång till släckvatten” enligt 16§ (AFS 1995:1) kan ge upphov till diskussion. Generellt sett är den formstabila slangen mindre känslig mot slangbrott än lågtrycksslanger. För den fordonsmonterade pumpen gäller att den tryckhöjande delen sannolikt gör högtryckspumpar något mer benägna att felfunkera än motsvarande lågtryckspumpar på grund av att det finns fler delar som kan gå sönder samt att det högre trycket sliter på materialet. Hur mycket större denna risk blir är oklart.

Följande statistik illustrerar hur vanligt slangbrott mellan pump och strålrör är jämfört med funktionsbrist hos pump. Underlaget kommer från insatsrapporter sammanställda i SRV-skriften *Räddningstjänst i siffror* för åren 1997-2004.

Tabell 9. Statistik från Räddningstjänst i siffror

År	Slangbrott	Pumphaveri	Totalt antal insatsrapporter
1997	229	94	93 281
1998	105	80	80 439
1999	146	61	92 811
2000	100	55	89 079
2001	100	55	93 899
2002	122	64	96 843
2003	157	76	97 134
2004	116	70	89 122

Tabell 9 visar att slangbrott är ett vanligare problem än pumphaverier. Statistiken visar också att någon ökning av antalet pumphaverier inte kan ses under den tidsperiod som redovisas, se figur 29 nedan. Detta trots att antalet högtryckspumpar ökat under samma tid, de är dock totalt sett få till antalet (se bilagor G - Svarssammanställning från enkäter samt A - Räddningstjänster med högtryck). Materialets storlek begränsar dock de slutsatser som kan dras av detta.



Figur 29. Funktionsbrister i vattenförsörjningen mellan 1996 och 2004.

Slangsystemet på ett 40 bars högtryckssystem är alltid helt beroende av pumpen på en enskild släckbil. För lågtryckssystem finns möjligheten att utgå från ett grenrör på baspunkten. Till denna kan grovslang från ytterligare en bil kopplas vilket gör att vattenförsörjningen tryggas av två av varandra oberoende pumpar.

Från Island (Finnsson, 2005) och Danmark (Mattsson, 2005) som länge arbetat med högre tryck på pumpen, rapporteras inte någon onormalt hög andel pumphaverier.

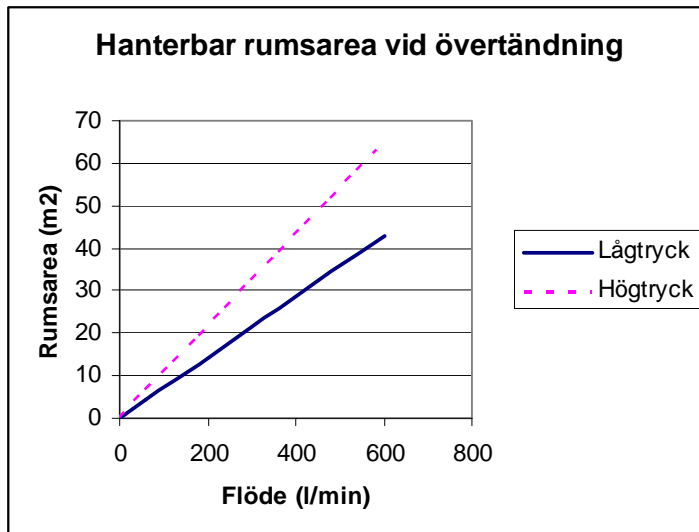
När detta skrivs är en revidering av AFS 1995:1 planerad till september, 2006. Enligt uppgift ska de i nuläget planerade ändringarna inte i större grad påverka slutsatserna i denna rapport (Wikén, 2005).

## 7.2 Säker tillgång till nödvändig mängd vatten

Vilket flöde som anses trygga brandmännens säkerhet vid rökdykning kan regleras i vissa kårers lokala rökdykarreglementen. Det regleras *inte* i AFS 1995:1. Det är inte heller reglerat vilka krav som är *rimligt* att ställa på flödet. Bör det vara nog för att slå ner en övertändning i ett rum, i en industrilokal? Det finns i dagsläget inga möjligheter att med manuella brandsläckningssystem häva en initierad backdraft eller en brandgasexplosion (Särdqvist, 2002). Givet att detta är korrekt är ett sådant krav alltså inte realistiskt.

Ett säkert flöde skall dels vara av en viss storlek och dels vara kontinuerligt. Ett högtryckssystem har ofta ett lägre flöde än lågtryckssystem. Hur säkerställt ett kontinuerligt flöde är beror på driftsäkerheten hos pumpen, sannolikheten för slangbrott samt om vattenförsörjningen till bilen fungerar. Den sista parametern utelämnas i denna rapport med den enda kommentaren att det lägre flödet i högtryckssystemen ställer lägre krav på vattenförsörjningen av bilen.

Särdqvist (1996) framlägger en teori för att beräkna rumstorlek i vilka en rökdykargrupp kan häva en övertändning. Genom att först låta vattnet förångas och därefter låta ångan absorbera energi från brandgaserna kan en rökdykargrupp hantera en effekt på 10,8 MJ per liter vatten. Effektiviteten hos rökdykargruppen anges till 0,2 och är empiriskt framtagen. Detta medför att rökdykargruppen kan hantera  $10,8 \times 0,2 = 2,16$  MJ per liter vatten. Genom att anta att varje kvadratmeter motsvarar en effekt på 0,5 MW kan därmed rumsstorleken beräknas. Ett flöde på 1 l/s, 60 l/min, är alltså tillräckligt för att hantera en övertändning i ett rum med en area motsvarande endast 4,3 m<sup>2</sup>. I kapitlet om direkt angrepp slogs fast att högtryckssystem är i behov av endast 2/3 av vattenmängden som ett lågtryckssystem kräver för att nå samma släcke effekt. Denna effektivitetsvinst kan approximeras med att rökdykargruppen ges en effektivitet på 0,3 vilket innebär att 60 l/min är tillräckligt för 6,5 m<sup>2</sup>. Rumstorlek som funktion av flöde redovisas i Figur 30.



Figur 30. Rumsarea som funktion av flöde

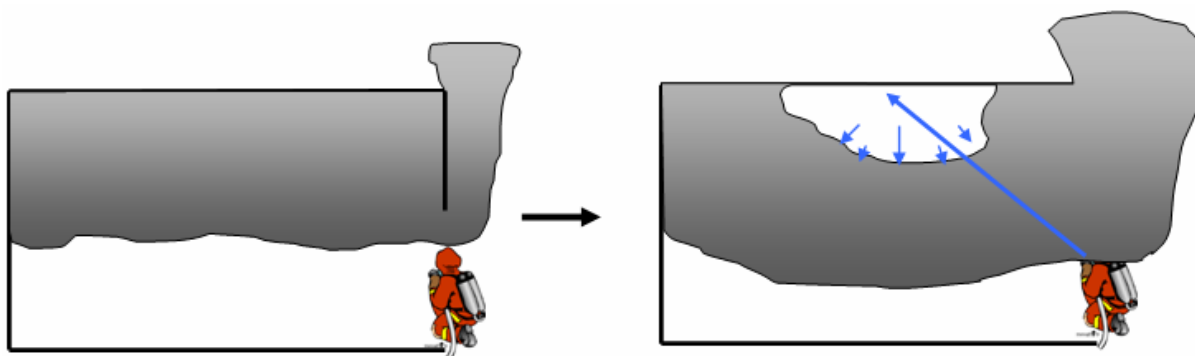
Eftersom sambandet i figur 30 är linjärt är skillnaden mellan de olika systemens flöden, direkt proportionellt mot storleken på rum i vilken en övertändning kan hanteras. Detta gäller givet att effektivitetsfaktorn är densamma. Ett lågtryckssystem som ger 300 l/min skulle klara av att häva en övertändning i ett rum på 20 m<sup>2</sup> och ett högtryckssystem med 200 l/min skulle klara samma area. Hur stora rum som bedöms lämpliga att dimensionera sitt flödeskrav efter

lämnas här för räddningstjänsten själva att ta ställning till. Beaktas bör att ett understödande flöde kan fås från rökdykarledaren vilket kan mer än dubblera den hanterbara rumsarean.

### 7.3 Värmegenomslag vid ångexpansion

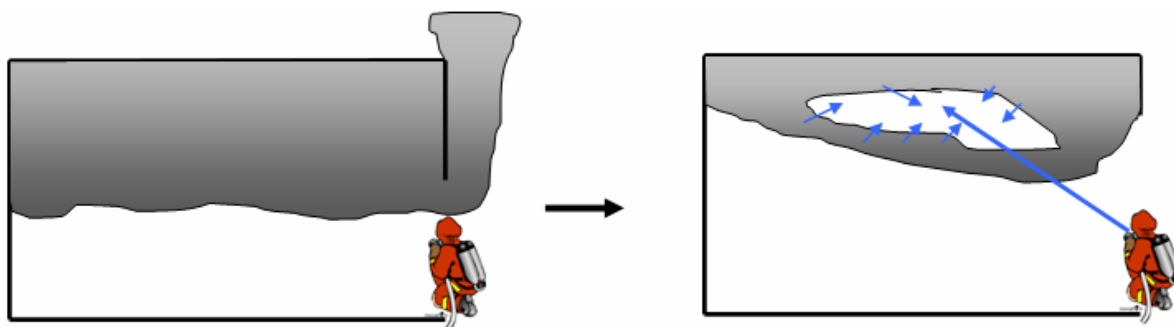
Varm luft med en hög andel upphettad ånga kan medföra värmegenomslag igenom brandmännens skyddskläder och orsaka brännskador (se exempelvis Lundström m.fl., 2000). Släckvatten är den största källan till den ånga som på detta sätt kan drabba rökdykarna i samband med invändiga släckinsatser.

Huruvida brandmännen utsätts för denna upphettade ånga avgörs av hur volymen brandgaser och ånga förändras i brandrummet. Ångexpansion trycker upphettad ånga nedåt från brandgaslagret och ut genom rummets öppningar och medför därmed att brandmännen riskerar att exponeras för denna. Ångexpansion uppkommer då vatten förångas mot heta ytor i brandrummet. Vid förångningen övergår vattnet från vätska- till gasfas vilket medför en volymökning på ungefär 1700 gånger (Holmstedt, 1998).



Figur 31. Principskiss på ångexpansion.

Ångans expansion kan motverkas med hjälp av brandgaskylning. Enligt allmänna gaslagen beror en given gasmassas volym på dess tryck och temperatur. Om inte brandrummet är förslutet är trycket i stort sett konstant. Om temperaturen sjunker och trycket hålls konstant minskar gasmassans volym. Detta innebär att korrekt utförd brandgaskylning verkar för att minska brandgasernas volym och därigenom motverka en eventuell ångexpansion.



Figur 32. Principskiss av korrekt utförd brandgaskylning.

Släckvatten som förångas mot ytor eller i brandhård ger ångexpansion. Släckvatten som förångas direkt i brandgaserna motverkar ångexpansion. Den ånga som bildas då vatten förångas mot ytor eller i brandhård kommer att öka sin temperatur på bekostnad av

omgivningen. Den energi som krävs för denna temperaturökning tas alltid från brandgaserna och motverkar därför ångexpansion. Enligt en teoretisk modell gäller att när cirka 30 % förångas i brandgaser med en temperatur på 600°C och 70 % förångas mot heta ytor tar dessa effekter ut varandra och brandgasvolymen hålls konstant (Särdqvist, 2002). Förångas mer än 30 % i brandgaserna minskar ångans volym.

Främst är det brandmannen och hans strålförarteknik som avgör vart vattnet förångas och därigenom om ångexpansion inträffar eller inte. Som tidigare nämnts har även droppstorleken betydelse. Mindre droppar förångas fortare i brandgaserna och når i mindre utsträckning ytor eller brandhård. Släcksystem som ger upphov till mindre droppar minskar därför risken för ångexpansion.

### 7.4 *Slutsatser säkerhet*

- Ett 40 bars högtryckssystem med formstabil slang innebär en minst lika säker vattenförsörjning som ett konventionellt lågtryckssystem förutom möjligheten att trygga vattenförsörjningen med två av varandra oberoende pumpar vid lågtrycksanvändning.
- Enligt en teoretisk modell kan ett lågtryckssystem häva en övertändning i rum på ca 20 m<sup>2</sup> och ett 40 bars högtryckssystem likaså, något beroende på flödet. Beaktas bör även att ett understödjande flöde kan fås från rökdykarledaren vilket kan mer än dubblera den hanterbara rumsarean.
- Användning av högtryckssystem som ger mindre droppstorlekar minskar risken för ångexpansion om korrekt strålrörsteknik används.



## 8 HANTERBARHET

---

---

*Den kanske största skillnaden mellan släcksystem med olika tryck är att hanterbarheten är olika. I detta kapitel beskrivs hur hanterbarheten varierar mellan olika släcksystem.*

---

---

Hanterbarheten betecknar de möjligheter brandmannen ges att använda vattnet på ett optimalt sätt. Det optimala är att vattnet görs tillgängligt snabbt, att slang och strålrör utgör en mycket liten arbetsbörda för brandmannen och att denne har möjlighet att styra vattenbegjutningen så att denna träffar branden på bästa sätt.

Hanterbarheten är av betydelse vid alla tre brandsläckningsåtgärder, brandgaskylning, förebyggande ytkylning samt direkt angrepp (kapitel 4, 5, 6). Betydelsen är dock varierande storlek. Hanterbarheten beror på följande egenskaper:

- Slangens diameter
- Slangtyp
- Slanglängd
- Slangutläggning
- Reaktionskrafter
- Strålrörets utformning och användarvänlighet.
- Strålrörsarbete
- Arbetsbelastning

### 8.1 Slangens diameter

Högre tryck möjliggör att slangens innerdiameter kan minskas utan att storleken på vattenflödet påverkas. De flesta högtryckssystem har dock minskat innerdiametern ytterligare, vilket fått till följd att flödet i dessa system är mindre än i lågtryckssystem. För 40 bars högtryckssystem är två slangdiametrar dominerande,  $\frac{3}{4}$  tum (19 mm) och 1 tum (25 mm). I Sverige är  $\frac{3}{4}$  tum (19 mm) vanligast men 1 tum (25 mm) -slangar förekommer också. Bland användare av 1 tum slangar förekommer en uppfattning om att denna slang är svårjobbad vid slangutläggning och i allmänhet svårhanterlig (se Bilaga G – Svarssammanställning från enkäter).

För system med tryck på ca ~100 bar varierar slangtjockleken kring 10 mm (Axelsson, 2005). Dessa storlekar finns även på 40 bars system (se exempelvis Södertörns brandförsvärsförbund i bilaga A – Räddningstjänster med högtryck), men är här inte lika vanliga.

Då diametern på den formstabila högtrycksslangen är mindre än diametern på vävslangen för lågtryck är mängden vatten per meter mindre i högtrycksslangen. Detta gör att högtrycksslangen är lättare och därmed enklare att hantera.

Tabell 10. Vattenvolym per meter slang.

Innerdiameter	Vattenvolym per meter (liter)
76 mm	4,5
63 mm	3
42 mm	1,5
38 mm	1
1" (25 mm)	0,5
3/4" (19 mm)	0,3
1/2" (12 mm)	0,1

En minskad slangdiameter ökar risken för att vattnet fryser i slangen vid insatser i kallt klimat. Vid användning av små slangdiameterar i mycket kalla klimat är det därmed än viktigare att aldrig helt stänga strålröret. Strålrör för användning tillsammans med små slangdimensioner bör ha ett flödesläge för detta om klimatet kräver det.

## 8.2 Slangtyp

Den relativt lilla diametern på högtrycksslangen möjliggör (och trycket kräver) att slangen tillverkas formstabil med någon typ av invändig armering av stål- eller plasttråd. Även lågtryckssystem kan använda formstabil slang, men de höga tryckförlusterna på grund av den smalare slangdimensionen ger ett lågt flöde i dessa fall. Användande av formstabil slang minskar risken för veck på slangen och därigenom risken för stora tryckförluster och slangbrott vid dessa veck. På en stråltrådsarmerad formstabilslang finns dock en risk att när veck uppstår, kan detta i förlängningen leda till slangbrott eftersom risken finns att stråltrådarna böjs och nöts vid veckningen. På Räddningsverkets skola i Revinge har av den anledningen bytt från ståltrådsarmerad slang till plasttrådsarmerad slang.

Den formstabila slangen förvaras upprullad på en så kallad centrumrulle på släckbilen. Detta tillsammans med slangens ytegenskaper gör att den formstabila slangen är enklare att tvätta än vävslang för lågtryckssystem, se vidare kapitel 9, ekonomi.



Figur 33. Olika montage av centrumrulle.

För lågtryckssystemen används vävslangar med en yttre väv av antingen nylon eller polyester och gummiklädd insida. Denna är inte formstabil. Den svenska standarden, SS 2840 (1987) gäller för vävslangar. Slangarna förekommer i längder om 20 eller 25 meter men även andra, främst längre, längder förekommer (Särdqvist, 2002).



### 8.3 Slanglängd

Den på centrumrullen upprullade formstabila slangen tar större plats än motsvarande längd ej vattenfylld lågtrycksslang. Eftersom utrymmet på dagens svenska släckbilar är begränsat finns det små möjligheter att medföra extra längder slang till högtryckssystem. I dagsläget används vanligen slanglängder på mellan 60 och 80 meter för  $\frac{3}{4}$  tums slang. Detta faktum är, även bokstavligen menat, ett tillkortakommande hos högtryckssystemen då den medförda slanglängden utgör en absolut gräns för möjliga insatser. Att utrymmet är begränsat innebär att användandet av 1 tums slang ytterligare begränsar den medförda slanglängden. Ett lågtryckssystem har inte denna begränsning utan det finns goda möjligheter att koppla på extra slanglängder vävslang. För att undvika allt för stora tryckfall används grovslang för förlängning av lågtryckssystem.

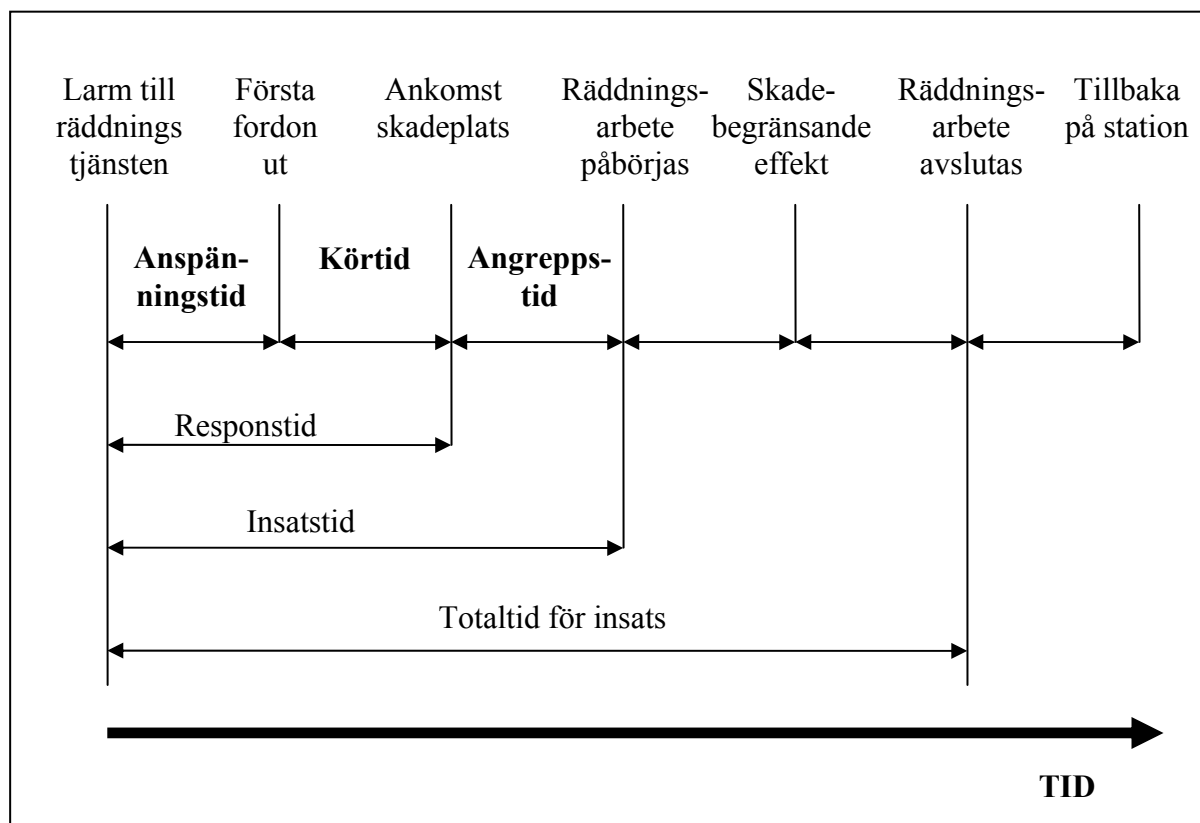
Om fordonet är utrustat med två centrumrullar finns möjlighet att sammankoppla dessa båda slanglängder (mattson, 2005). Tryckförlusterna blir i detta fall mycket stora.

### 8.4 Slangutläggning

För att kunna göra bruk av strålröret krävs att slang dras från släckbil till den plats varifrån insats kan påbörjas.

#### 8.4.1 Insatsens tidsperioder

En insats av räddningstjänsten kan delas upp i tidsperioder. Insatsen påbörjas då larm inkommer till räddningstjänsten. Den första tidsperioden benämns anspänningstid och avslutas med att första fordon lämnar stationen. Därefter följer en körtid fram till skadeplats. Efter det vidtar angreppstiden under vilken räddningstjänsten gör nödvändiga förberedelser för att påbörja räddningsarbete/genomföra inträngning. Viss tid förflyter mellan påbörjandet av räddningsarbete/inträngning och till dess att släckvatten når branden och ger en skadebegränsande effekt eller att en livräddande rökdykning genomförs. Därefter ska räddningsarbetet avslutas och styrkan återvända till stationen.



Figur 34. Insatsens tidsperioder.

#### 8.4.2 Slangutläggning av högtryckssystem

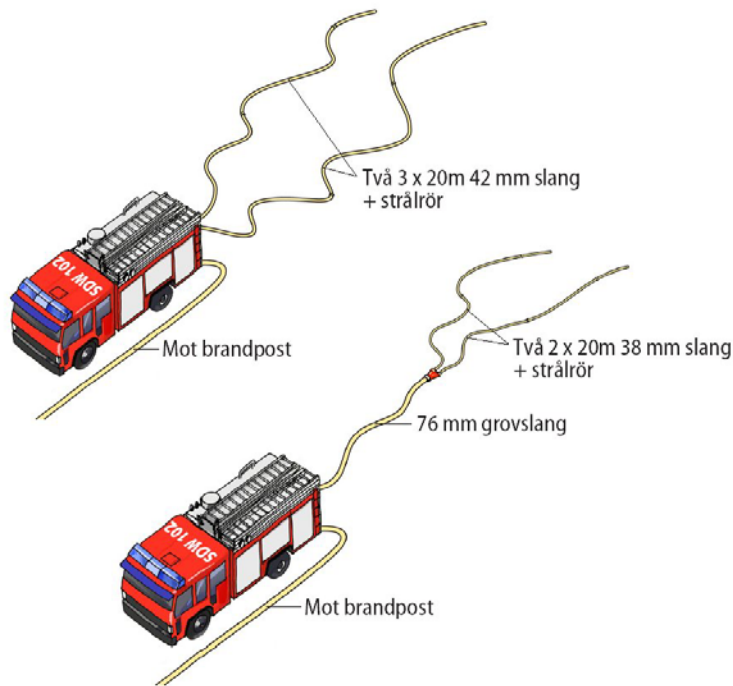
Slangutläggning av högtryckssystem med centrumrulle kan enklast beskrivas som ”hugg i och dra”. För den oinvidige bör det dock tilläggas att slangens ingalunda rullar ut fritt. Belastningen vid slangutdragning är ofta så stor att två man i arbete är att föredra. En man som framrycker med strålröret och en man som arbetar med att dra ut slangens från centrumrullen. Variationer på hur detta bäst görs kan med fördel utvecklas på stationen.

#### 8.4.3 Slangutläggning av lågtryckssystem

För lågtryckssystem finns det flera olika sätt att lägga ut slangens på, se exempelvis Sjöberg & Nilsson (1986) och Brandvattenförsörjning (1994). De två vanligaste sätten är dock (Särdqvist, 2002):

1. Grovslang (76 mm) kopplat till ett grenrör ställt vid rökdykarnas baspunkt. Från grenröret dras därefter 2x20 meter smalslang (38 eller 42 mm) med strålrör till rökdykarpåret respektive rökdykarledaren.
2. 3x20 meter smalslang, dragen direkt från släckbilen, till rökdykarpåret respektive rökdykarledaren.

Möjlighet finns till användande av automatventil som känner av när slangens är fullt utdragen och då höjer pumptrycket och släpper på vattnet.



Figur 35. Slangutläggningssystem, lågtryck metod 1 och 2.

Den första metoden har den fördelen att friktionsförlusterna blir mindre och längden grovslang kan göras lång utan att tryckförlusten blir alltför stor. Ytterligare en fördel är att en andra släckbil kan koppla grovslang till grenröret och därigenom öka säkerheten i vattenförsörjningen. Den andra metoden har fördelen av att vara snabb och därigenom ge en kortare angreppstid än den första metoden.

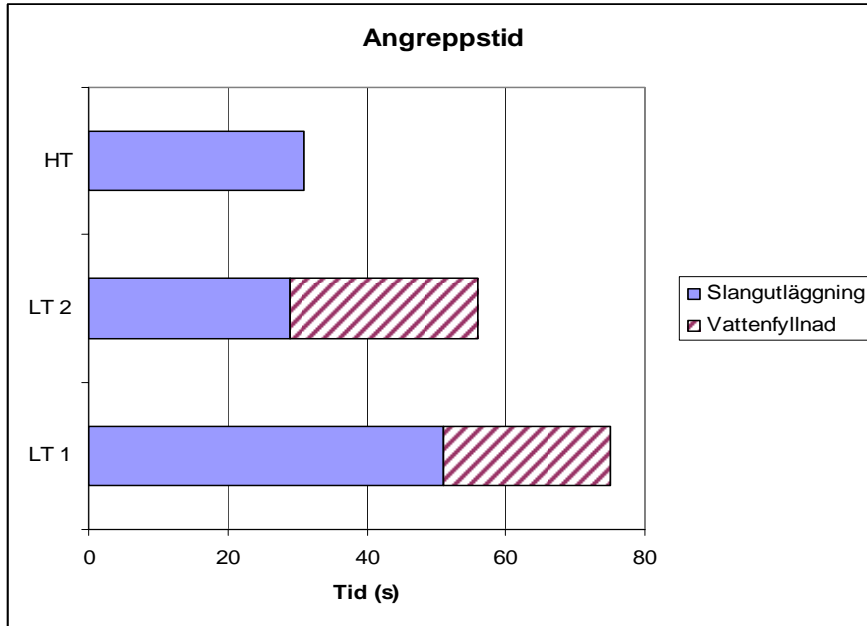
#### 8.4.4 Den tidsmässiga aspekten

Försök har gjorts som en del av denna rapport för att undersöka den tidsmässiga aspekten på slangutläggning av låg- respektive högtryckssystem vid insats i flerfamiljshus (3:e våningen). Försöken finns beskrivna i bilaga H – Slangutläggningsförsök, och gav nedanstående resultat.

Tabell 11. Resultat från slangutläggningsförsök.

System	Utläggningstid (s)	Vattenfyllnadstid (s)	Total tid (s)
Lågtryck, metod 1	51	24	75
Lågtryck, metod 2	29	27	56
Högtryck	31	0	31

De i tabellen införda resultaten åskådliggörs i figur 36 nedan och ska ses endast som en fingervisning om slangutläggningstiden. I försöken var skillnaden i tid mellan olika försök i vissa fall så stor som 15 sekunder.



Figur 36. Skillnad i angreppstid.

Den från släckbilen direkt dragna smalslangen, *LT 2*, Lågtryckssystem-metod 2, är i utläggningstid jämförbar med högtryckssystemet. Skillnaden blir tiden för att vattenfylla och lufta slangen. Jämfört med lågtryckssystem får högtryckssystemet en kortare angreppstid och skillnaden är minst tiden för att vattenfylla och lufta slangen.

Att det finns tid att vinna styrks även av försök genomförda av Malmö brandkår som kom fram till att slangdragning av ett 40 bars högtryckssystem gick snabbare upp till och med 3: e våningen (andra våningsplanet ovan bottenplan) jämfört med utläggning av konventionellt lågtryckssystem. (Berg, 2006). Även Räddningstjänsten Storgöteborg har gjort motsvarande försök och i dessa fått resultatet att tidsvinsten blir större än den i denna rapport redovisade (Tell, 2006).



**Figur 37. Brandövningshuset där slangutläggningsförsök gjordes.**

I Köpenhamn används vid behov utvändigt slangdragning till trapphus vilket väsentligt minskar angreppstiden i vissa fall. De danska byggreglerna innebär att trapphus måste ha hål mellan trapporna, så kallad lysning, eller fönster mot utsidan för att möjliggöra utvändigt slangdragning. Denna genomförs av brandmän som med hjälp av rep och krok firar upp slang och strålrör genom fönster på den våning som ligger närmast under den brandhärjade (Mattsson, 2005).

Högtryckssystemen har fördelen att inte hela slangen behöver dras ut. I de fall då angreppet kan ske från en punkt nära släckbilen blir tiden för slangutläggningen av högtryckssystemet mycket kort. För lågtryckssystemet gäller att den fastlagda rutinen för slangutläggning bibehålls så att hela systemet måste läggas ut och vattenfyllas. I dessa fall är alltså skillnaden i angreppstid mellan systemen större än tiden för att vattenfylla slangen.

Enligt Rimen (1990) är nedkortandet av angreppstiden en av de största fördelarna med högtrycksbrandsläckning. Även Island och Danmark anger detta som en av de största fördelarna (Finnsson, 2005, Mattsson, 2005).

En tidsmässig aspekt är att återställningen av ett högtryckssystem är enklare än återställningen av ett lågtryckssystem vilket medför att den insatta enheten snabbare görs tillgänglig för ett eventuellt taktiskt omfall.

### **8.5 Reaktionskrafter**

Reaktionskrafterna med högtryckssystem ökar med det ökade trycket men sjunker med det minskade flödet (kapitel 3.6). I slutändan skiljer sig därför inte reaktionskrafterna mycket åt i en jämförelse mellan låg- och högtryckssystemen. Reaktionskrafterna ska snarast ses som en begränsning av det flöde som är praktiskt användbart att använda vid både låg- och högtrycksbrandsläckning. Denna begränsning redovisas i kapitel 3.6.

### 8.6 Strålrörets utformning

De flesta strålrör för 40 bars högtryck är konstruerade som ett strålrör för lågtryck men är av tillverkaren testat och godkänt för högre tryck. I dagsläget utgör strålrörens utformning inte någon betydande skillnad i en jämförelse mellan lågtryck och 40 bars högtryck. För högre tryck än 40 bar finns strålrör av en mer annorlunda konstruktion. Dessa strålrör analyseras inte vidare i denna rapport (vissa kan dock skådas i bilaga A - Räddningstjänster med högtryck).



Figur 38. Strålrör: Ovan vänster - Akron 1704, ovan höger - Rosenbauer Nepiro, nedan vänster - Dld0, nedan höger - Unifire APG.

Enligt studien *Räddningstjänst under stark kyla*, RUSK (Carlsson m. fl., 2000), är dimstrålrör mer benägna till isbildning vid utloppet än enhetsstrålrör. Ett frysningstest motsvarande en simulerad eftersläckning med ett flöde på 15 liter i minuten, med strålröret liggande på marken, genomfört vid en temperatur på under  $-10^{\circ}$ , visar att dimstrålröret fick en snabb frysning på tandkransen. Enhetsstrålröret fick ingen frysning vid utloppet. Studien visar även att ett dimstrålrör blir obrukbart vid frysning men att ett enhetsstrålrör är möjligt att få igång om inte frysningen är allt för omfattande. Ett enhetsstrålrör har ett maximalt arbetstryck på 20 Bar (T&A Hydronics – produktkatalog, 2005).

### 8.7 Strålrörsarbete

Högtrycksbrandsläckning kräver ett aktivare strålrörsarbete än släckning med lågtryckssystem. Detta för att kompensera för den begränsade kastlängden och det begränsade flödet. Det annorlunda strålrörsarbetet ställer krav på att brandmannen utbildas och övas på ett adekvat sätt innan högtryckssystemen tas i bruk för att säkerställa att systemet används på ett effektivt och säkert sätt.

### 8.8 Fordonens utformning

Flera svenska räddningstjänster har på senare år börjat använda andra, ofta mindre, fordon än vanliga basbilar med en annan bemanning än det traditionella 1+4. Dessa fordon är ofta utrustade med antingen skärsläckaren eller ett 100 – 250 bars högtryckssystem då dessa system tar mindre plats och ställer mindre krav på vattentanksvolymen på fordonet. De huvudsakliga ambitionerna med att införa dessa mindre fordon är bland annat minskade insatstider samt möjligheten att differentiera beredskapsstyrkan, ibland vanvördigt benämmt ”släpp ankfamiljen” (Axelsson & Hultman, 2006). Från Södertörns Brandförsvarsförbund rapporteras att det mindre fordon som där nyttjas har förbättrat möjligheterna att genomföra övningar, studiebesök och utåtriktat arbete med beredskapspersonalen. (se bilaga A - Räddningstjänster med högtryck).



Figur 39. Mindre fordon från Södra Roslagens Brandförsvarsförbund samt Södertörns Brandförsvarsförbund.

Även utomlands är det vanligt med mindre fordon, i figur 40 ett exempel från ön Caye Caulker i Belize.



Figur 40. Brandman och brandbil på Caye Caulker i Belize.

### 8.9 Slutsatser hanterbarhet

- Användningen av formstabil slang minskar angreppstiden vid insats mot brand i byggnad upp t.o.m. tredje våningen. Denna minskning beror på att den formstabila slangen är vattenfylld från början och att den inte kräver luftning innan användning.

Att vattenfylla och lufta ett lågtryckssystem för rökdykning tar i storleksordningen 30 sekunder. Möjligheten att använda formstabil slang till högtryckssystemen och därigenom minska angreppstiden är en av de största fördelarna med högtryckssystem.

- Användande av 1 tums formstabil kontra  $\frac{3}{4}$  tums slang innebär främst två nackdelar för hanterbarheten: kortare slanglängd och en slang som kan upplevas som svårjobbad slang, bland annat vid slangdragning. Dock är flödet större.
- Högtryckssystem har begränsade möjligheter att byggas ut på längden varför ett utbyggbart lågtryckssystem är att föredra vid lång angreppsväg/inträngsväg.
- Högtrycksbrandsläckning innebär ett annorlunda strålrörsarbete för brandmannen vilket kräver utbildning och övning av denne.
- Tiden för återställning på skadeplats minskar vid användning av formstabil slang varför enheten snabbare görs tillgänglig för andra insatser.
- Strålrör för användning tillsammans med små slangdimensioner bör ha ett flödesläge för att möjliggöra att ett mindre flöde kan upprätthållas för att undvika att vattnet fryser vid insatser i kallt klimat.
- Användande av formstabil slang minskar risken för veck på slangen och därmed även risken för stora tryckförluster och slangbrott vid dessa veck.
- Formstabil slang är enklare att tvätta än vävslang.



## 9 EKONOMI

---

---

*Följande kapitel kan utgöra ett översiktligt underlag till den ekonomiska aspekten vid val mellan 40 bars högtryckssystem eller annat system.*

---

---

Att generellt dra slutsatser kring de ekonomiska aspekterna kring högtryckssystem är inte gjort i en handvändning och detta kapitel är inte heller ett försök att göra detta. De ekonomiska förutsättningarna kring upphandling av släcksystem varierar mellan alla Sveriges räddningstjänster. Ansatsen i detta kapitel är att ge ett enkelt, översiktligt beslutsunderlag vilken ska kunna tillämpas av räddningstjänsten och anpassas efter de lokala förhållanden som råder. Alla siffror i kapitlet är ungefärliga.

### 9.1 Kostnader

De största kostnaderna vid anskaffning av högtryckssystem är anskaffnings och utbildningskostnader.

#### 9.1.1 Anskaffningskostnad

Nyanskaffningskostnaden för ett 40 bars högtryckssystem ligger mellan 40 000 – 100 000 kronor vid montage på ny släckbil. (Johansson, 2005, Hedlund, 2005, Talpai, 2005, Bilaga G – Svarssammanställning från enkäter). Priset beror bland annat på om en eller två centrumrullar upphandlas.

Anskaffningskostnaden för ett 100-250 bars system ligger i storleksordningen kring 150 000 kronor (Hassius, 2005).

En högtrycksdimspik till ett 40 bars system kostar knappt 3000 kronor (Bergh, 2006).

#### 9.1.2 Utbildningskostnader

Behovet av utbildning är som tidigare nämnts i denna rapport stort. Kostnaden för utbildning av hela den delen av organisationen som kan tänkas komma i kontakt med systemet måste inräknas bland kostnaderna vid anskaffning av högtryckssystem.

### 9.2 Vinst

I tidigare kapitel har effektivitets- och tidsvinster för högtryckssystem slagits fast. Utöver detta sparas en viss summa in på slangtvätt då slangtvätten kan utföras på plats vid återställning på skadeplats med hjälp av exempelvis en luddig handske.



Figur 41. Till vänster slangtvätt av formstabil slang, till höger lågtrycksslang i väntan på tvätt.

Denna summa är för exempelvis Landskronas del (Landskrona använder ett 40 bars högtryckssystem) mellan 35 000 och 40 000 kronor per år (Ulf Bergh, Sirenen nr 8, 2002). Denna sparade kostnad kan relativt enkelt beräknas av räddningstjänsten.

### 9.2.1 Att kvantifiera tidsvinsten

Tidigare i rapporten har det konstaterats att ett högtryckssystem kan förkorta angreppstiden med i storleksordningen, minst 30 sekunder. Jaldell (2004) ger ett underlag för att i ett samhällsekonomiskt perspektiv monetärt kvantifiera denna tidsvinst. Värdet för fem minuters förändrad, ökad eller minskad, insatstid anges till 137 800 kronor vid brand i byggnad. Med hjälp av linjär interpolation kan motsvarande siffra för 30 sekunder beräknas till 13 780 kronor. Detta innebär att användning av högtryckssystem minskar skadekostnaderna med nästan 14 000 kronor vid varje insats mot brand i byggnad. Genom att multiplicera siffran 13 780 med antalet insatser mot brand i byggnad per år i kommunen fås den samhällsekonomiska vinst som en anskaffning av ett högtryckssystem i kommunens räddningstjänst skulle innebära. Detta under förutsättning att högtrycksbrandsläckning används som förstavalsmetod mot brand i byggnad. Denna siffra ska givetvis tas med en stor nypa salt, men den hjälper till att ge ett perspektiv på den investeringskostnad ett högtryckssystem medför. Till samhällsvinster kommer även lägre kostnader på grund av färre minskade vattenskador.

Vid användning av mindre fordon blir tidsvinsten ofta större på grund av att framkörningstiden minskar men en fullständig insats med exempelvis rökdykning kan inte påbörjas enbart med dessa enheter.

### 9.3 *Slutsatser ekonomi*

- Ett högtryckssystem är främst förknippat med en anskaffnings- och utbildningskostnad.
- Pengar, bl.a. i termer av sparad arbetstid, kan sparas på slangtvätt.
- Samhällsekonomiska vinster är möjliga genom en förkortning av angreppstid och minskad vattenanvändning.



## 10 DISKUSSION

---

---

*Här förs sammanfattande, och jämförande diskussioner om högtrycksbrandsläckning ur tre perspektiv, det tekniska, det räddningstaktiska och det förvaltningsmässiga. Innehållet baseras delvis på tidigare kapitel men även på författarnas resonemang. Avsikten är att i den mån tidigare analysarbete ger möjlighet, svara på de frågor som här ställs. I vissa frågor ges inte kompletta svar, men dessa lyfts likväl, då de bedöms som relevanta för räddningstjänsterna att själv själva ta ställning till.*

---

---

### 10.1 Tekniska aspekter

Nedan diskuteras de tekniska aspekterna kring systemet.

#### 10.1.1 Specificera hur systemet ska användas

Är avsikten att i så stor utsträckning som möjligt ersätta lågtryckssystem kan det eventuellt vara lämpligt med grövre slang och ett strålrör med justerbar flödesinställning. Exempelvis är strålröret benämnt Dld0 inte det bästa i dessa lägen eftersom det ger ett relativt lågt flöde.

Eftersom högtryckssystem generellt har ett begränsat flöde och begränsade utbyggnadsmöjligheter, bör ett lågtryckssystem finnas tillgängligt. Hög- och lågtryckssystemet kan finnas antingen parallellt på samma enhet, eller så kan högtrycket finnas på en enskild enhet, där lågtrycket finns tillgängligt via andra bilar i organisationen.

Ett högtryckssystem ska alltid ses som ett komplement till ett lågtryckssystem eftersom lågtryckssystemet då det behövs kan erbjuda ett större flöde och slanglängd.

#### 10.1.2 Slangtjocklek

Formstabil slang för högtryckssystem på ca 40 bar med slangdimensionen 25 mm (1") har ett par nackdelar. Dels begränsas slangens totala längd då den monteras på en centrumrulle och dels har det rapporterats att den är tungarbetad. Detta reducerar de hanterbarhetsmässiga fördelarna med högtrycket väsentligt, utan att flödet blir lika stort som i ett lågtryckssystem. Flödet blir dock större än i en 19 mm slang.

#### 10.1.3 Strålrör

Idag finns ingen klassificering eller standard avsedd för strålrör som arbetar med ett pumptryck på 40 bar eller högre. De strålrör som används på 40 bars högtryckssystemen är i regel, med några undantag, från början avsedda för lågtryckssystem, men har sedan även trycktestats och godkänts för högre tryck. Detta innebär bland annat att automatiskt tryck- eller flödesreglage inte finns hos högtrycksstrålröret.

Det finns inget som hindrar att nya strålrör, speciellt avsedda för 40 bars högtryckssystem tas fram. Ett exempel på ett sådant är det som i denna rapport kallas Dld0. Eftersom klassificering och standarder anpassad för brandsläckningsutrustning vid högre tryck saknas, är det i detta läge viktigt att tänka på vad strålröret ska användas till. Under de försök som gjorts under detta arbete har t.ex. strålrörstryck hos ett system med 80 meters slanglängd, 19 mm invändig

diameter och ett dämt pumptryck på 40 bar strålrörstryck varierat mellan 6,5 och 28,5 bar. Vid ett strålrörstryck på 6,5 bar kan det inte sägas att strålbilden är karaktäristisk för ett högtryckssystem.

Av ovan nämnda anledningar bör köparen ställa krav på att få tillgång till information om strålrörets tryck-flödeskurva. Med kännedom om detta kan man t.ex. beräkna vilket ungefärliga flöde man kommer få tillsammans med den slangtyp man även önskar använda.

För strålrör till högtryckssystem med drygt 100 bar på pumpen är utformningen på strålrör väldigt olika, se bilaga A - Räddningstjänster med högtryck. En positiv sak med detta är att det kan vara lättare att välja det system som passar ens egna behov allra bäst. Som exempel kan nämnas Skärsläckarens genomskärningsegenskaper eller Oertzens (ett idag relativt vanligt 230 bars system, se exempelvis Södra Roslagens utrustning i bilaga A - Räddningstjänster med högtryck) enkla skuminblandning. För dessa system saknas tryck-flödes-kurvor.

### 10.1.4 Flödets roll

Hos ett 40 bars högtryckssystem är en av de främsta fördelarna tidsvinsten i att ha slangen färdigkopplad på centrumrulle. För att kunna ha detta krävs dock att slangen har en ganska smal diameter för att inte slanglängden eller hanterbarheten ska bli lidande. I kapitel 3, teknisk prestanda, framgår att strömningsförlusterna i en slang ökar kraftigt när den inre diametern är ca 25 mm eller mindre. Därför är det viktigt att vara medveten om vad effekten blir av den kombinationen av utrustning som ska inköpas. Att kontrollera detta kan göras med uppgifter om den specifika slangens tryckförluster på en viss längd (och vid ett ungefärligt referensflöde) samt tryck-flödeskurvor för det specifika strålröret, se beräkningsexemplet (se kapitlet teknisk prestanda). Alternativt kan man kräva att få uppmätta tryckfall och flöden för den utrustning man är intresserad av. Båda dessa uppgifter bör kunna krävas av försäljaren av systemen.

## 10.2 *Räddningstaktiska aspekter*

Nedan diskuteras de räddningstaktiska aspekterna kring systemen.

### 10.2.1 Utbildningsbehov.

Då ny utrustning införskaffas medför detta ett ökat övnings- och utbildningsbehov. För att tillfullo åtnjuta fördelarna med ett högtryckssystem är det viktigt att användaren är väl förtrogen med utrustningen. Detta är övningskrävande, särskilt om inte systemet används i det dagliga utryckningsarbetet. Av säkerhetsskäl är det även att rekommendera att räddningstjänsten inte är utrustad med utrustning som i vardagen används sällan. Detta poängteras starkt av Magnus Mattson i Köpenhamn, inte minst med tanke på att det är viktigt med en bra strålrörsteknik vid brandgaskylning med 40 bars högtryckssystem.

Vid anskaffning av nytt släcksystem, exempelvis ett 40 bars högtryckssystem bör inriktningen vara att varje brandman och befäl ges möjlighet att regelbundet använda systemet både skarpt och i övnings-sammanhang. Ett problem uppstår om kommunen har flera stationer eller styrkor och brandmän och befäl byter mellan dessa stationer eller styrkor. Är i detta fall inte samtliga styrkor utrustade med samma typer av system blir kompetensen hos den enskilda användaren lidande. På samtliga bilar som samma personal använder, bör det därför finnas samma

utrustning. Detta resonemang medför att alternativet att ”testa” ett släcksystem på en styrka innebär att denna styrka måste hållas intakt. Enkelt uttryckt gäller att: ”Gör en medveten och ordentlig satsning på högtrycksbrandsläckning eller gör ingen satsning alls.”

Om ett högtryckssystem används ofta finns en risk att kompetensen för användning av det konventionella lågtryckssystemet blir lidande.

### 10.2.2 Räddningsledarens förtrogenhet med styrkans kompetensnivå

Detta diskussionsämne är hämtat från högtrycksanvändande räddningstjänst (Hoff, 2005). Räddningsledaren är den person som leder arbete vid en räddningsinsats. Därför är det mycket viktigt att denne är väl medveten om den utbildningsnivå och kompetens aktuellt vaktskifte har avseende den släckutrustning och de rutiner som används. Har stationen nyligen införskaffat ett högtryckssystem men inte fått erforderlig träning, måste räddningsledaren vara medveten om detta. Det kan dessutom finnas stora variationer internt mellan vaktskiften på stationen.

Detta potentiella problem är kanske mest sannolikt då högre ledning kommer från andra stationer eller till och med kommuner och därmed inte dagligen ”umgås” med styrkorna.

Skillnaden i erfarenhet och utbildningsnivå mellan styrka och räddningsledare gäller åt båda håll. I vissa fall kan styrkan vara väl förtrogen med ett högtryckssystem medan räddningsledarens erfarenhet av systemet är bristfällig.

Det är av vikt att räddningsledaren känner till högtryckssystemets prestanda, särskilda egenskaper och begränsningar och att han är medveten om hur detta påverkar säkerheten för rökdykarna och möjligheten till en framgångsrik släckning.

### 10.2.3 Lämpliga insatser för högtryck

I de situationer då ett 40 bars högtryckssystem används som ersättning för lågtryckssystemet klarar det grovt sett att användas i ca 90 % av insatserna i samband med brand i byggnad. I de fall högtryck inte kan användas är det dessutom troligt att även ett lågtryckssystem i vissa fall är otillräckligt och att någon annan metod är nödvändig, exempelvis lättskum eller att låta byggnaden brinna. Som nämnts tidigare i rapporten begränsas högtryckssystemen av flödet och slanglängden. Dessutom skiljer sig de säkerhetsmässiga egenskaperna åt mellan högtrycks- och lågtryckssystem.

Användningen av ett 100 – 300 bars högtryckssystem kan aldrig ersätta användning av annat system för invändig släckning, främst på grund av säkerhetsmässiga aspekter. Däremot är det rimligen, beroende på situation, ett bra alternativ för att påbörja tidig, utvändig släckning.

### 10.2.4 Olika systems användningsområden

Det finns olika incitament för att skaffa eller inte skaffa ett högtryckssystem. En idag populär förändring inom räddningstjänsten (se exempelvis Södertörn i bilaga A - Räddningstjänster med högtryck) är att gå ifrån 1+4 bemanning och använda sig av andra, alternativa och mindre fordon. En fördel med detta är att enklare kunna frigöra personal för annat, utåtriktat arbete i kommunen. På sådana enheter är ofta ett högtryckssystem lämpligt eftersom de i regel är

betydligt mindre till storlek än lågtryckssystem, i synnerhet gäller detta 100 bars högtryckssystem.

I Köpenhamn (bilaga A - Räddningstjänster med högtryck) används ett 250 bars system på bilen kombinerat med borr som ett alternativ i de situationer där skärsläckaren annars är användbar. Denna kombination har fördelen att den är mindre skrymmande på bilen och att strålen inte riskerar att skada människor. Nackdelen är att man inte kan ta sig igenom alla typer av väggmaterial. I detta läge kan det dock vara relevant att i kommunen analysera hur stor del av byggnaderna som inte har väggar av trä.

Ett 40 bars högtryckssystem är inte ett alternativ på mindre fordon då centrumrullen är skrymmande och att de i regel kräver ett större flöde än vattentanken på ett mindre fordon kan tillåta. Däremot är det tänkbart att ett 40 bars högtryckssystem med dimspik skulle kunna användas tillsammans med en borr på samma sätt som skärsläckaren. Problemet med dimspik på centrumrulle är dock att mängden vatten måste regleras m.h.a. trycket på pumpen.

### 10.2.5 Vattenförsörjning till rökdykarledaren

Att rökdykarledaren ska ha tillgång till eget vatten regleras inte i direkt i paragraferna i AFS 1995:1. Däremot står det i kommentarerna av paragraferna att tolkningen av §12 gör gällande att: ” rökdykarledaren behöver uppfylla samma krav som rök- eller kemdykarna”, d.v.s. ha säker tillgång till släckvatten. Exakt tolkning av detta begrepp är en fråga för kommunerna att ta ställning till. Görs tolkningen att rökdykning inte får påbörjas förrän även rökdykarledaren har en vattenfylld slang i sin hand bör första bilen ha tillgång till två centrumrullar. Om inte så förloras en del av tidsvinsten med systemet.

### 10.2.6 Standardrutiner och rökdykarreglemente

Om kommunen i sitt lokala rökdykarreglemente ställer krav på visst flöde kan detta innebära att ett högtryckssystem inte klarar av att möta detta. En angivelse av säkert flöde i AFS 1995:1 skulle också kunna innebära detta.

Standardrutinen bör ge räddningsledaren ett underlag för vilka typer av bränder högtryckssystem ska användas emot. Exempelvis: *40 bars högtryckssystem används alltid mot brand i byggnad och annan brand om inte omständigheterna i övrigt kräver större flöde eller ett utbyggbart slangsystem.*

Standardrutinen vid insats kan behöva ses över med avseende på andra rutiner vid slangutlägg.

### 10.2.7 Ökat behov av kontakt mellan rökdykare och pumpskötare

Vid användning av högtryckssystem finns större möjligheter att justera pumptrycket efter önskat flöde på strålröret. Detta gäller i synnerhet de strålrör där inställbar flödesinställning saknas och där tryckreglering för höga strålrörstryck saknas. Denna flödesjustering via pumptrycket kan med fördel göras i situationer där man erfarenhetsmässigt vet att ett högt flöde inte är nödvändigt. Detta erfordrar dock en god kommunikation mellan rökdykarna och pumpskötaren, så att trycket kan höjas om mer vatten skulle behövas. På samma sätt sköts i regel flödesjustering på 100 bars högtryckssystem.

Exempel på denna kommunikation finns i beräkningsexemplet i avsnitt tryckfall i teorikapitlet.

Kommunikation och flödesreglering bör därför övas.

### 10.2.8 Skumanvändning

Möjligheten att blanda in skumvätska har efterfrågats i de styrkeledarenkäter som ingått i arbetet med denna rapport, se bilaga G – Svarssammanställning. I Köpenhamn används skum tillsammans med 40 bars högtryckssystem och andra högtryckssystem har funktioner som innebär förenklad skumanvändning, se bilaga A – Räddningstjänster med högtryck. Skuminblandning bör kunna ske dels i storleksordningen 0,1 % och dels i storleksordningen 3 – 6 %. Det förstnämnda för att minska släckvattnets ytspänning och förbättra dess inträngningsförmåga. Arbeta med detta pågår för närvarande bland annat på Räddningstjänsten Landskrona. Möjligheten till skuminblandning bör undersökas, värderas och diskuteras vid inköp.

### 10.3 Förvaltningsmässiga aspekter

Nedan diskuteras de förvaltningsmässiga aspekterna kring systemen.

#### 10.3.1 Ekonomiska förutsättningar

Ett minst sagt viktigt incitament för att införskaffa ett nytt brandsläckningssystem är om det går att erbjuda samma, eller bättre skydd, till lägre kostnad. I kapitlet ekonomi belyses att det finns sätt att spara in investeringskostnaden. På direkt väg genom till exempel minskade kostnader för slangtvätt och på indirekt väg genom samhällsekonomisk vinning då insatstider kortas och sekundärskador blir mindre, under förutsättning att utbildningsnivån är adekvat. Högtryckssystem av mindre typ möjliggör användandet av mindre, alternativa fordon vilket kan medföra att personal frigörs och lättare görs tillgänglig för ej stationsbundet arbete. Nyttan med mindre fordon lämnas här vidare outredd.

#### 10.3.2 Beslutsunderlag och relevant information

Beslutet att införskaffa ett högtryckssystem på en räddningstjänst bör fattas mot bakgrund av det behov man har i kommunen och vad systemet ska klara av. Strålrör för högtryck har idag kraftigt varierande prestanda. En av de huvudsakliga skillnaderna som betonas i samband med högtryckssystem är den minskade droppstorleken. I vissa försäljningsmaterial används termer som ”skapar dimma” och skapar ”mikrodroppar”, men inte hur dessa definieras eller hur detta undersökts. Vid inköp bör det efterfrågas hur dessa termer underbyggs och uppmätts. Mycket av denna information finns tillgänglig hos tillverkarna, men inte hos försäljarna.

Av de filmer som försäljare gärna förevisar finns sannolikt en vilja att visa de typer av bränder där just deras system fungerar som bäst. Det bör finnas möjlighet att kräva att få se försök med den typen av bränder som kan förväntas inom enhetens insatsområde.



### 10.3.3 Fordon och val av system

Det är tänkbart att ett beslut om att skaffa ett högtryckssystem i första hand inte baseras på deras släckande förmåga, utan snarare på att de är små till storleken och därför kan placeras på alternativa, mindre fordon, vilka räddningstjänsten av olika anledningar kan tänkas vilja börja använda. Av utrymmesskäl är det i regel bara högtryckssystem med smala slangdiametrar och små pumpar som är aktuella, d.v.s. 100 - 250 bars system eller systemet FireExpress. I ett sådant läge är det viktigt att ta reda på hur det system som anskaffas fungerar taktiskt enligt frågor nedan:

- Vilket maximalt flöde ges?
- Finns möjlighet att koppla upp mot brandpost?
- Hur lång tid kan det tänkas ta innan förstärkning anländer?
- Hur mycket vatten rymmer tanken på bilen och räcker detta till förstärkning anländer?

Om ett 100 bars system bedöms relevant, men inte skärsläckaren, är det vettigt att även utrusta enheten med en borrhål i fasad kan göras för brandgaskylning från utsidan.

Många olika alternativ finns för att kombinera utrustning på basbil eller motsvarande, exempelvis:

- Lågtryck + 40 bars högtryck + dimspik [t.ex. Landskrona]
- Lågtryck + 40 bars högtryck + skärsläckaren [t.ex. Dala-Mitt]
- Lågtryck + 40 bars högtryck + 100 bars högtryck (+ borrhål) [t.ex. Köpenhamn]

### 10.3.4 Förutsättningar för utbildning på högtryck

Att erbjuda utbildning på nya system har tidigare belysts som en central sak. Detta borde rimligtvis kunna erbjudas av de försäljare man vänder sig till. Dessutom är det så idag att på Räddningsverkets skolor i Skövde och Revinge används bland annat 40 bars högtryckssystem i den nya brandmannautbildningen, SMO. Detta innebär att krasst hälften av de brandmän som idag anställs är upplärda med att använda 40 bars högtryck på centrumrulle.

Dessutom finns skärsläckaren i Skövde, Revinge, Rosersberg och på Sandö, vilket bådar för att kompetens på detta system torde finnas hos större delen av de framtida brandmännen.

Utöver konkret handhavandebildning kan det finnas ett behov av erfarenhetsutbyte mellan gamla och nya nyttjare av högtryck för att undvika att ”hjulet upptäcks” om och om igen.

Idag använder ca en femtedel av alla räddningstjänster (se bilaga A - Räddningstjänster med högtryck) någon form av högtrycksutrustning. Författarnas erfarenhet är att samtliga de varit i kontakt med har varit välvilliga till att dela med sig av sina erfarenheter. Ett forum skulle kunna utvecklas för att enkelt komma åt varandras erfarenheter. Ett förslag på ett sådant forum skulle kunna vara en Internetsida. Denna sida skulle kunna innehålla följande delar:

- Alla kårer som använder en viss typ av utrustning.
- Fabrikat och utformning på systemet.
- Namn och kontaktväg till kontaktperson på kåren om sådan finnes.
- En FAQ- funktion (en sammanställning av Frekvent Ställda Frågor) där räddningstjänsterna kan fylla i sina egna erfarenheter.

- Möjlighet att lägga upp egna, anpassade och detaljerade rapporter om insatser. En sökfunktion bland inläggen i FAQ:en.

Forumet borde för övrigt vara lämpligt även för andra räddningstjänstrelaterade frågor. Det finns idag embryon till sådana forum, t.ex. [www.blaljus.se](http://www.blaljus.se)

### 10.4 *Sammanfattning diskussion*

- För att den nödvändiga kompetensnivån (framförallt vad gäller strålförarteknik och slangutläggning) ska upprätthållas bland brandmän och befäl är det viktigt att högtryckssystemet används i hög grad. Inför ett val att införskaffa ett högtryckssystem eller inte gäller därför: ”gör en medveten och ordentlig satsning på högtrycksbrandsläckning eller gör ingen satsning alls”.
- Beslutet att införskaffa ett högtryckssystem på en räddningstjänst bör fattas mot bakgrund av det behov man har i kommunen och vad systemet ska klara av att hantera. Information om systemens begränsningar ska krävas av försäljaren.
- Ett forum bör utvecklas för att enkelt komma åt varandras erfarenheter. Författarnas erfarenhet är att samtliga de varit i kontakt med har varit välvilliga till att dela med sig av sina erfarenheter.

## 11 SLUTSATSER

---

*Här återges de slutsatser som kunnat dras under arbetets gång. Kapitlet avslutas med att de slutsatser författarna bedömer som viktigast, återges*

---

### *Teknisk prestanda*

- Tryckfallet per meter slanglängd ökar väsentligt då slangens inre diameter är cirka 25 mm eller mindre. Beräkningar på tryckfall kan slå mycket om de görs med dålig indata.
- Ett högtryckssystem med högt strålrörstryck är mindre känsligt för tryckfall på grund av insatser på hög höjd.
- Högtrycksstrålrör arbetar ofta utanför det område under vilken en viss tryckautomatik råder, vilket gör att strålbilden kommer att påverkas av pumptrycket.
- Medeldiameter kan anges på olika sätt och det är viktigt att vara medveten om vilken det är som avses.
- Lågtryckssystem har generellt sett större reaktionskrafter i strålrören.
- Reaktionskraften från de högtrycksstrålrör som testats i rapporten blir aldrig ohanterlig för den ensamme brandmannen
- Den svenska standarden för lågtrycksstrålrör (SS 35 00) är inte fullt ut tillämpbar på högtrycksstrålrör.

### *Brandgaskylning*

- Högtryck med ca 40 bars pumptryck (och högt strålrörstryck) sänker brandgasernas temperatur snabbare, till lägre temperatur och med mindre vatten än konventionella lågtryckssystem, förutsatt att lämpligt strålrör används.
- Det är viktigt att arbeta aktivt med strålröret för att få bästa brandgaskylande effekt.
- Val av strålrör förefaller påverka kylningsförmågan även vid liknande strålrörstryck.

### *Förebyggande ytkylning*

- Lågtryckssystem och 40 bars högtryckssystem har jämförbara ytkylningsegenskaper då problemet snarast är att fördela vattnet.

### *Direkt angrepp*

- Lågtryckssystemens större droppar ger en längre kastlängd genom heta brandgaser, och ytkylning av pyrolyserande ytor kan därför åstadkommas från ett större avstånd.
- Om det kan antas att ett vanligt svenskt lägenhetsrum inte är större än 57 m<sup>2</sup> så räcker flödet från ett 40 bars högtryckssystem (enligt Grimwood) till att släcka cirka 90 % av bränderna som svenska räddningstjänster ställs inför.
- Flödet hos högtryckssystem med ca 100 bar klarar sannolikt av att släcka upp till 80 % av bränderna svenska räddningstjänster larmas till. Däremot har de enligt siffrorna Grimwood anger, inte ett tillräckligt flöde för att medge invändig släckinsats i bostadsrum.

### *Säkerhet*

- Ett 40 bars högtryckssystem med formstabil slang innebär en minst lika säker vattenförsörjning som ett konventionellt lågtryckssystem förutom möjligheten att

trygga vattenförsörjningen med två av varandra oberoende pumpar vid lågtrycksanvändning.

- Enligt en teoretisk modell kan ett lågtryckssystem häva en övertändning i rum på ca 20 m<sup>2</sup> och ett 40 bars högtryckssystem likaså, något beroende på flödet. Beaktas bör även att ett understödande flöde kan fås från rökdykarledaren vilket kan mer än dubblera den hanterbara rumsarean.
- Användning av högtryckssystem som ger mindre droppstorlekar minskar risken för ångexpansion om korrekt strålrörsteknik används.

### *Hanterbarhet*

- Användningen av formstabil slang minskar angreppstiden vid insats mot brand i byggnad upp t.o.m. tredje våningen. Denna minskning beror på att den formstabila slangen är vattenfylld från början och att den inte kräver luftning innan användning. Att vattenfylla och lufta ett lågtryckssystem för rökdykning tar i storleksordningen 30 sekunder. Möjligheten att använda formstabil slang till högtryckssystemen och därigenom minska angreppstiden är en av de största fördelarna med högtryckssystem.
- Användande av 1 tums formstabil kontra ¾ tums slang innebär främst två nackdelar för hanterbarheten: kortare slanglängd och en slang som kan upplevas som svårjobbad slang, bland annat vid slangdragning. Dock är flödet större.
- Högtryckssystem har begränsade möjligheter att byggas ut på längden varför ett utbyggbart lågtryckssystem är att föredra vid lång angreppsväg/inträngsväg.
- Högtrycksbrandsläckning innebär ett annorlunda strålrörsarbete för brandmannen vilket kräver utbildning och övning av denne.
- Tiden för återställning på skadeplats minskar vid användning av formstabil slang varför enheten snabbare görs tillgänglig för andra insatser.
- Strålrör för användning tillsammans med små slangdimensioner bör ha ett flödesläge för att möjliggöra att ett mindre flöde kan upprätthållas för att undvika att vattnet fryser vid insatser i kallt klimat.
- Användande av formstabil slang minskar risken för veck på slangen och därmed även risken för stora tryckförluster och slangbrott vid dessa veck.
- Formstabil slang är enklare att tvätta än vävslang.

### *Ekonomi*

- Ett högtryckssystem är främst förknippat med en anskaffnings- och utbildningskostnad.
- Pengar, bl.a. i termer av sparad arbetstid, kan sparas på slangtvätt.
- Samhällsekonomiska vinster är möjliga genom en förkortning av angreppstid och minskad vattenanvändning.

### *Diskussion*

- För att den nödvändiga kompetensnivån (framförallt vad gäller strålförarteknik och slangutläggning) ska upprätthållas bland brandmän och befäl är det viktigt att högtryckssystemet används i hög grad. Inför ett val att införskaffa ett högtryckssystem eller inte gäller därför: ”gör en medveten och ordentlig satsning på högtrycksbrandsläckning eller gör ingen satsning alls”.
- Beslutet att införskaffa ett högtryckssystem på en räddningstjänst bör fattas mot bakgrund av det behov man har i kommunen och vad systemet ska klara av att hantera. Information om systemens begränsningar ska krävas av försäljaren.

- Ett forum bör utvecklas för att enkelt komma åt varandras erfarenheter. Författarnas erfarenhet är att samtliga de varit i kontakt med har varit välvilliga till att dela med sig av sina erfarenheter.

### 11.1 Viktigaste slutsatser

40 bars högtryckssystem kan användas mot grovt sett 9 av 10 insatser och förefaller lämpligt för invändig släckning under skyddsnivån rökdykning.

De främsta fördelarna hos 40 bars högtryckssystem är kortare angreppstid och minskad vattenanvändning.

Övriga högtryckssystem har som huvudsakliga fördelar att de är mindre och därför får plats i mindre fordon.

Största nackdelarna med högtryckssystemen generellt är att de inte är utbyggbara där detta krävs, samt att flödet blir begränsande.

Högtryckssystem ska alltid ses som *komplement* till konventionella lågtryckssystem.

Vid användande av högtryckssläckning är det viktigt att utrustningen används i hög utsträckning för att säkerställa att användarnas kompetens upprätthålls. Med andra ord, ”gör en ordentlig satsning på högtrycksbrandsläckning eller gör ingen satsning alls”.



## Källförteckning

### Skriftliga källor

AFS 1995:1, *Rök- och kemdykning*, (1995), Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.

Aktuellt från Räddningsverket, 3/2000. *Högtrycksbrandsläckning*.

Andersson, Petra & Holmstedt, Göran, 1999, "Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent", *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 9, nr 4, 1999.

Arvidson, M.& Hertzberg, T., 2001, *Släcksystem med vattendimma – en kunskaps sammanställning*, Brandforsk projekt 509-991, SP RAPPORT 2001:26.

Axelsson, Johan & Hultman, Per, 2006, *Sjukvårdsinsatser av räddningstjänsten - ett beslutsunderlag för Malmö Brandkår*, Lund: Institutionen för Brandteknik LTH, Rapport nummer 5187.

Bertrand, John E. & Wiseman, John D., 2003, *Fog Nozzles – research and practice*, PennWell corporation, ISBN 0-87814-895-7, USA.

Boverkets Byggregler, *BFS 1993:57 med ändringar till och med 2005:17*, Boverket.

Carlsson, Dan, Andersson, Bo, Danielsson, Lennart, Wiik, Anders, 2000, *Räddningstjänst under sträng kyla (Rusk)*, Karlstad: Räddningsverket, P21-356/00.

Grimwood, P., 1992, *Fog attack*, FMJ International Publications ltd. ISSN 0966-8500

Handell, Anders, 2000, *Utvärdering av dimstrålrörs effektivitet vid brandgaskylning*, Lund: Institutionen för Brandteknik LTH, Rapport nummer 5065.

Holmstedt, Göran, 1998, *Släckmedel och släckverkan, obligatorisk kurs för BI2*, Lund: Institutionen för Brandteknik LTH.

Jaldell, Henrik, 2004, *Tidsfaktorns betydelse vid räddningsinsatser*, Karlstad: Räddningsverket, P21-449/04.

Jensen, Lars, *Dimensionering av sprinklersystem*, 2001, RapportTABK—01/7059, LTH, Institutionen för installationsteknik, Lund.

Karlsson, Björn & Quintere, James G. 1999, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press.

Liu, Z., Kashef, A., Lougheed, G. D., Benichou, N., *Review of three dimensional water fog techniques for fire fighting*. National Research Council (Canada), Research Report RR124.

Lundqvist, Annica, 1991, *Brandsektionering genom vattenbegjutning – en experimentell studie*, Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute, Brandteknik, SP-RAPPORT 1991:28.

Lundström, Sören & Svensson, Stefan & Särdaqvist, Stefan, 2000, *Släckförsök vid brand i stor lokal*, Karlstad: Räddningsverket P21-328/00.

Magee, R.S. & Reitz, R.D. 1974, *Extinguishment of Radiation Augmented Plastic Fires by Water Sprays*, Factory Mutual Research, Technical Report 22357-1, USA.

NFPA 750, 1996, *Water Mist Fire Protection Systems*, National Fire Protection Association, USA.

Rimen, J.G. 1990, *The Use of High Pressure and Low pressure Pumps with Hosereel Systems*, Central Fire Brigades Advisory Council, Scottish Central Fire Brigades Advisory Council, Joint Committee on Fire Research, Research report No 36, UK.

*Sirenen nummer 8*, 2002, Räddningsverkets tidskrift.

Sjöberg, Jan-Erik & Nilsson, Kjell, 1986, *Handbok Brand*, Karlstad: Räddningsverket, U14-018/86.

SS-EN 1028, *Brand och räddning – Brandpumpar – Centrifugalpumpar med evakueringsanordning*, 2002, Svensk Standard, SIS, Standardiseringskommissionen i Sverige.

SS 2840, *Brandmateriel – Tryckslangar*, 1987, Svensk Standard, SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige.

SS 3500, *Brandmateriel – Strålrör*, 1987, Svensk Standard, SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

SRV, Statens Räddningsverk, 1994, *Brandvattenförsörjning*, Karlstad: U26-469/96

SRV, Statens Räddningsverk, 2000, *Räddningstjänst i Siffror 2002*, Karlstad: Räddningsverket, I99-102.

SRV, Statens Räddningsverk, 2001a, *The cutting extinguisher*, Karlstad: P21-362/01.

SRV, Statens Räddningsverk, 2001b, *Räddningstjänst i Siffror 2000*, Karlstad: Räddningsverket, I99-093.

SRV, Statens Räddningsverk, 2002, *Räddningstjänst i Siffror 2001*, Karlstad: Räddningsverket, I99-097/02.

SRV, Statens Räddningsverk, 2003, *Räddningstjänst i Siffror 2002*, Karlstad: Räddningsverket, I99-102.

SRV, Statens Räddningsverk, 2004, *Räddningstjänst i siffror 2003*, Karlstad: Räddningsverket, NCO 2004:6, I99-114/03.

SRV, Statens Räddningsverk, 2005, *Räddningstjänst i siffror 2004*, Karlstad: Räddningsverket, NCO 2005:4, I99-122/05.



Svensson, Stefan. & Lundström, Sören. 1997, *Försök med högtrycksbrandsläckning*, Karlstad: Räddningsverket ,rapport P21-196/97.

Svensson, Stefan, 2000a, Kommunikation mellan Dr Svensson och strålrörstillverkare per fax april 2000.

Svensson, Stefan., 2000b, *Brandgasventilation*, Karlstad: Räddningsverket, U30-602/00.

Svensson, Stefan, & Särdaqvist, Stefan, 2001, *Fire Tests In A Large Hall, Using Manually Applied High- And Low Pressure Water Sprays*. Fire Science and Technology, vol. 21, No. 1, 2001.

Svensson, Stefan. 2004, *Investigating Fire Fighting Tactics in a Mechanical Workshop*. In Proceedings: 10th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'01), Edinburgh 5th – 7th July, Interscience Communications, London, 2004.

Särdaqvist, Stefan, 1996, *An engineering approach to firefighting tactics*, Lund: Brandteknik, Lunds Universitet Rapport 1014.

Särdaqvist, Stefan, 2000, Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting, Lund: Brandteknik, Lunds Universitet Rapport 1021.

Särdaqvist, Stefan, & Holmstedt Göran, 2001, *Water for Manual Fire Suppression*, *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 11, nr 4.

Särdaqvist, Stefan, 2002, *Vatten och andra släckmedel*, Karlstad: Räddningsverket, U30-617/02.

Södra Roslagens Brandförsvarsförbund, 2005, *Utvärdering av projektet teknik och metodutveckling liten räddningsenhet*, Täby.

T&A Hydronics, 2005, *Brandarmatur – produktkatalog*.

### **Digitala källor**

Barnett,C.& Grimwood,P., 2005, *Fire-fighting Flow-rate*, [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com), hämtad 1 september 2005.

SCB, 2005, [http://www.scb.se/templates/tableOrChart\\_60868.asp](http://www.scb.se/templates/tableOrChart_60868.asp), hämtad den 9 november 2005.

### **Personliga källor**

Axelsson, Jonas, 2005, Agaria, Kontakt med elektronisk post 2005-09-26.

Berg, Andreas, 2006, Räddningstjänsten Syd, Samtal 2006-02-24.

Bergh, Ulf, 2006, Räddningstjänsten Landskrona, Upprepade samtal hösten 2005, våren 2006

Finnsson, Birgir, Räddningstjänsten Island. Kontakt med elektronisk post 2005-10-12.

Hassius, Gunnar, 2005, Agaria, Kontakt med elektronisk post 2005-12-12.

Hedlund, Kai, 2005, Sala Brand AB, Kontakt med elektronisk post 2005-09-26.

Hoff, Kent, 2005, Räddningstjänsten Östra Blekinge, Telefonkontakt 2005-11-29.

Johansson, Ulf, 2005, Svenska Räddningsfordon AB, Telefonkontakt 2005-10-17.

Jönsson, Robert, 2005, Brandteknik, Upprepade samtal hösten 2005, våren 2006.

Ljung, Mats, 2005, Södertörns brandförsvärsförbund, Samtal 2005-10-03.

Mattsson, Magnus, Köpenhamns brandväsen, Samtal 2005-10-10.

Talpai, Andras, 2005, Malmö Brandkår, Kontakt med elektronisk post 2005-11-29.

Tell, Thomas, 2006, Räddningstjänsten Storgöteborg, Samtal 2006-03-07.

Wikén, Tommy Eriksson, 2005, Arbetsmiljöverket, Telefonkontakt 2005-10-17.

## **BILAGOR**

<b><u>A.</u></b>	<b><u>BILAGA A – RÄDDNINGSTJÄNSTER MED HÖGTRYCK.....</u></b>	<b><u>81</u></b>
<b><u>B.</u></b>	<b><u>BILAGA B – TRYCK-FLÖDESKURVOR .....</u></b>	<b><u>91</u></b>
<b><u>C.</u></b>	<b><u>BILAGA C – KASTLÄNGDFÖRSÖK .....</u></b>	<b><u>95</u></b>
<b><u>D.</u></b>	<b><u>BILAGA D - STRÅLBILDSFÖRSÖK.....</u></b>	<b><u>111</u></b>
<b><u>E.</u></b>	<b><u>BILAGA E – TRYCKFALL I SLANG .....</u></b>	<b><u>120</u></b>
<b><u>F.</u></b>	<b><u>BILAGA F – STATISTIK BOSTADS- OCH HYRESRÄTTER .....</u></b>	<b><u>123</u></b>
<b><u>G.</u></b>	<b><u>BILAGA G - SVARSSAMMANSTÄLLNING AV ENKÄTSVAR.....</u></b>	<b><u>123</u></b>
<b><u>H.</u></b>	<b><u>BILAGA H - SLANGUTLÄGGNINGSFÖRSÖK.....</u></b>	<b><u>128</u></b>
<b><u>I.</u></b>	<b><u>BILAGA I - KÄNSLIGHET I FRIKTIONSKEFFICIENTERNA F OCH C .....</u></b>	<b><u>132</u></b>



## A. Bilaga A – Räddningstjänster med högtryck

I denna bilaga beskrivs översiktligt några högtryckssystem som används av skandinaviska räddningstjänster.

### *Södra Roslagens Brandförsvarsförbund*

I Södra Roslagen har man provat att använda ett mindre fordon utrustad med högtryck. Högtrycksenheten är av märket Oertzen 250 HDL och tillverkas i Tyskland. Det arbetar med 250 bar på pumpen (fast vanligt är att bara använda 180 bar p.g.a ljudnivån då 250 bar används)



Figur 42. Till vänster, bilen sedd snett framifrån. Till höger, bilen sedd bakifrån.

Enheten har två olika munstycken, ett enkelt pistolgrepp och ett pistolgrepp med påbyggt fördelarrör. Det munstycke som används som standard på Vaxholm är det senare som med ett enkelt handgrepp kan användas även till skum. Detta har tre lägen, samlad stråle, spridd stråle och skuminblandad stråle och byten mellan dessa görs enkelt genom att snurra på spridarröret.

Enheten har utvärderats internt av Södra Roslagens Brandförsvarsförbund. Enheten användes 30 gånger under utvärderingsperioden. Av dessa insatser var två mot bilbrand samt 11 stycken övriga larm vilket bland annat innefattar markbrand. Man fann i utvärderingen att den främsta fördelen med enhet är tidsvinsten, särskilt om den är placerad hemma hos deltidsanställd som därmed kan bege sig direkt mot olycksplatsen (Södra Roslagens Brandförsvarsförbund, 2005). Släcksystemet har inte utvärderats specifikt, kanske på grund av bristande underlag i form av det begränsade antalet insatser mot brand.

De nackdelar man upplevt på Vaxholm handlar främst om bilen är för trång. Det är praktiskt taget omöjligt för en resligt vuxen brandman att få plats i baksätet på bilen. Det finns därmed heller inga möjligheter att byta om i bilen, vilket gör att den tidsvinst man önskar göra med den mindre enheten delvis äts upp.

### Pris

146 000 kronor enligt Agaria (Hassius, 2005).

### Kastlängd

Kastlängden varierar med vilket strålrör som används. Enligt tillverkaren är den cirka 7-9 meter. Enligt egna uppmätningar på Vaxholms brandstation den 3 oktober 2005 är ”kontrollerbar” längd visuellt uppmätt till 10 respektive 6 meter för slutet och spridd stråle. Skumstrålen testades inte.

En intressant observation är att vattnet når mycket längre än den ”kontrollerbara” längden på strålen/sprayen. Detta p.g.a. att de små dropparna i hög utsträckning följer med vinden även om vinden var mycket svag under testdagen.

### *Räddningstjänsten Island (Reykavik)*

På Island har man använt sig av ett högtryckssystem sedan amerikanerna lämnade Island efter andra världskriget (cirka 1945) och då lämnade släckbilar som de använt på flygbaserna. Amerikanerna använde i synnerhet högtryckssystemen vid indirekt släckning i fartyg. Högtrycket sades även vara särskilt bra mot vätskebränder, och i brist på annan utrustning började man på Island att använda det även mot byggnadsbränder, både vid utvändig och invändig släckning, med mycket goda resultat.

Dåvarande brandchefen, Jon Sigurdsson, talade ofta på konferenser utomlands, framför allt här i Norden om fördelarna med högtrycket. Robert Jönsson (2005) minns när Jon besökte Brandteknik på Lunds Tekniska Högskola redan i början på 90-talet och berättade om högtrycket för diverse räddningstjänstrepresentanter och blev då mer eller mindre utskrattad.

Sedan dess har mycket hänt och högtrycket har både introducerats och försvunnit i Sverige.

### Utrustning

Tidigare använde man de amerikanska midskeppsmonterade pumparna som gav upp till 70 bar. Dessa var dock förknippade med vissa svårigheter och har därför bytts ut mot pumpar från Ruberg och Rosenbauer. Man har använt stråltrådsarmerad slang, men börjar nu övergå till vävarmerad slang som var den typ som ursprungligen användes på de amerikanska bilarna. Fördelen med de stråltrådsarmerade slangarna är att de kan göras med en mindre yttre diameter. Nackdelen är att strålcorden kan skadas om slangen blir överkörd eller rullas upp ovarsamt på rullen. De vävarmerade slangar man ska byta till är endast 60 meter långa, men förlängning av slangen kan enkelt göras. De har en inre diameter av 25 mm.

Strålrören man använder är amerikanska s.k. ”fog nozzles” som greppas med pistolgrepp.



Figur 43. Strålrör som används på Island samt slangskåp.

Här visas bild på en centrumrulle med ståltrådsarmerad, formstabil slang. Man håller idag på att gå ifrån användningen av dessa.



**Figur 44. Isländskt högtryckssystem i aktion.**

I figur 45 nedan visas en isländsk släckbil så som den såg ut juni 2003.



**Figur 45. Släckbil från juni 2003 på huvudbrandstationen i Reykavik.**

På Island arbetar pumparna på ca 40 bar, men det har diskuterats att köra högre än så (50-60 bar).

Bland de nackdelar man nämner från Island är de bränder (till antalet ca 2 %) då man har sådana brandbelastningar att mycket släckvatten erfordras. I dessa fall används högtryckssystemet "by default" tills det visar sig otillräckligt.



### *Köpenhamns Brandväsen*

På Köpenhamns brandväsen har man använt högtryckssystem mycket länge. Deras bilar är utrustade med två centrumrullar med vardera cirka 90 meter rullad armerad slang med invändig diameter 19 mm (3/4"). Slangen är stålcondarmerad i mitten. Till dessa slangar använder man ett Akron 1710 strålrör. Detta högtryckssystem kan arbeta på upp till 40-50 bar, men det typiska arbetstrycket är mellan 20 och 25 bar på pumpen.



Figur 46. Till vänster, bakre sidofack på Köpenhamns andrabil vid Hufvudbrannstationen. Till höger samma centrumrul i närbild.

Till strålröret kan kopplas en liten ”korg” varpå strålröret även kan användas till skuminsatser.



Figur 47. ”Skumkorg”.

Det går även att blanda in skum utan att använda ”korgen”. Man kan blanda in både ”vanligt” skum och så kallat A-skum (endast 0,3-1 % inblandning). Det vanliga skummet används till normal skumsläckning (typiskt mindre vätskebränder i förbindelse med trafikolyckor/bilbrand motsvarande) och A-skummet används vid normal brandsläckning för att ge bättre vidhäftningsförmåga och återantändningsskydd och producerar egentligen inte ett riktigt skum.

I Köpenhamn har man även ett system man kallar super högtryck. Detta system arbetar på cirka 100 bar och används ungefär på samma sätt som skärsläckaren. (3/8" armerad slang) Genom att skapa en extremt fin dimma kan man, med hjälp av en vanlig borr, komma åt i till exempel glödbränder i bjälklag, som annars är svåråtkomliga med det normala släcksystemet.

Att en enklare utrustning valts istället för skärsläckaren var enligt Magnus Mattsson en ekonomisk fråga. Istället för att betala 300 000 kr för skärsläckaren ansåg man att man kunde lägga 10 000 kr per styck på ett mindre system med 100 bars tryck och skaffa en bormaskin för att göra de hål och genomföringar som behövdes för att spruta in vattnet. Det handlar om att Köpenhamns Brandväsen har 10 släckbilar som skall utrustas, dvs 10x300.000 kr, då det anses att släckverktygen skall vara en del av samtliga förstautryckningar för att det skall bli använt.

På bilarna finns även möjlighet att koppla upp ett lågtryckssystem bestående av 76 mm grovslang och 38 mm manöverslang.

### Bemannning

I Köpenhamn är man sex man per bil, fyra rökdykare, en chaufför/pumpskötare samt en brandmästare. Rökdykarna är uppdelade i par där den ena paret utgör ett reservpar som normalt utgör backup och avlösning.

### Lagstiftning

Den danska lagstiftningen skiljer sig åt en del från den Svenska. I Danmark är det uttryckt i lagen att varje bil måste ha två slangar istället för som i Sverige där kravet är angett i AFS:en (1995:1) som att det ska finnas säkert vatten. I Dansk lagstiftning finns även krav på att bilarna skall ha både ett lågtrycks och högtryckssystem, lågtryckssystemet skall ge minst 1600 l/min vid 8 bar, högtryckssystemet skall bestå av minst 2 högtrycksslangar på vardera min 60 m. Utöver högtryckssystemet skall du kunna lägga ut minst 2 längder grovslang med grenrör och vardera minst 2 strålrör (dvs i totalt 4 strålrör på lågtryckssystemet). Lågtrycks och högtryckssystemet skall kunna arbeta samtidigt. Kraven kan inte jämföras med AFS 1995:1 då denna handlar om brandmannens säkerhet och inte släckbilens släckkapacitet. De danska kraven finns i beredskabsloven (motsvarande gamla Räddningstjänstlagen/Lagen om Skydd mot Olyckor (2003:778) och handlar inte om brandmannens säkerhet, utan om släckbilens släckkapacitet.

Även den danska bygglagstiftningen skiljer sig åt från den Svenska. I Danmark är det lagstadgat att varje trapphus måste ha en ”lysning” mellan räcket så att slang kan dras här. Om så inte är fallet måste trapphuset ha fönster så att slangdragning kan dras härigenom.

De första fördelarna med högtryckssystem där slangen sitter på centrumrulle är enligt Magnus Mattson:

- Tidsvinst då slangutlägg undviks.
- Ledat strålrör.
- Minskar vattenskadorna vid släckning.
- Lättare och mer manövrerbar slang ger snabbare insats/eftersökning.
- Enkelhet att koppla in skum och de släckvinster de medför.
- Lägre flöde minskar behovet att koppla upp mot brandpost, vilket i sin tur ger en tidsvinst i insatsen.
- Underhåll, slangtvätt mm undviks (sparar pengar).

De nackdelar man sett med systemet är:

- Brandmannen måste arbeta mer aktivt.
- Systemet med ”superhög” tryck bör kombineras med ventilering för att inte mötas av brandkaskad och kraftig ångexpansion
- Lägre flöde samt kastlängd ger begränsning i ”storleken på bränder” som kan bekämpas. Handlar framförallt om mängden av brandgaser

### *Södertörns Brandförsvarsförbund*

I Södertörn använder man ett system som heter Fireexpress. Systemet är framtaget av ett danskt företag med samma namn och har ett pumptryck på cirka 34 bar. På Södertörns bil är Fireexpress installerad på en Mercedes Sprinter som har specialbyggts av en lokal firma, Br. Hofman Karosseri. Slangen har en diameter på 1/2" (20 mm utvändigt och 12 mm (1/2") invändigt. Slangen är gjord helt i gummi med ett trådnät i mitten).



**Figur 48. Enhet 303 i på Södertörns brandförsvarsförbund med Fireexpressenhet påbyggd bak.**

Systemet levererar ca 32 l/min vid ett fast tryck på 34 bar. Enheten har möjlighet att koppla till två olika sorters skum. De två man använder på Södertörn är dels AFFF (alkoholresistent och filmbildande) och en billigare variant. Med AFFF har man en inblandning på 3 % och med den billigare varianten har man endast 0,5 % för att få en ytspänningssänkande effekt. Valet av skuminblandning görs på pumpen på bilen.

På det specialdesignade munstycket (lansen) finns möjlighet att välja mellan sluten eller spridd stråle. Med spridd stråle uppnås en kontrollerbar kastlängd på ca 7-9 meter. Utöver detta så kan droppar sprida sig längre med vindens hjälp.



**Figur 49. Munstycket "lansen" till Fireexpress.**

På Södertörn har man haft systemet i drygt 1,5 år (oktober 2005) och arbetar fortfarande med att putsa släcktekniken. Helt klart är att släckningen kräver ett mer aktivt arbetande och svepande från strålföraren för att svepa in alla brandgaser i den vattendimma (enligt tillverkarens egna uppgifter varierar droppstorlekarna mellan 0,07 och 0,1 mm).

De första fördelarna man sett med systemet på Södertörn är:

- Tidsvinst i slangutlägg.
- Mindre överskottsvatten och vattenskador.

- Enkelhet att koppla in skum och de släckvinster de medför.

De första nackdelar man sett med systemet är:

- Måste arbeta mer aktivt.
- Bör kombineras med ventilering för att inte mötas av kraftig ångexpansion och momentan intensitetshöjning av brand i brandgaser.
- Lägre flöde och mindre tank ger begränsning i storleken på bränder som kan bekämpas.

### Pris

Hela bilen som Södertörn införskaffat kostar enligt olika källor mellan 1 (muntligt) och 1,3 (Sirenen, nr 5/2004) miljoner kronor. Själva släckenheten från Fireexpress kostar ca 75 000 kronor (Mats Ljung, 2005) och till detta kommer kostnaden för att bygga in systemet i fordonet.

### Dropstorlek

Tillverkaren hävdar att dropstorleken varierar mellan 0,07 och 0,1 mm. Detta låter osannolikt med tanke på den trots allt ganska långa kastlängd systemet har. En dimma, som denna dropstorlek skulle klassas som, tappar p.g.a. vattendropparnas låga vikt, i princip genast all rörelsemängd och följer istället med luftens eller brandens konvektiva luft rörelser.

### Kastlängd

Enligt tillverkarens uppgifter har man en ”kontrollerbar” kastlängd på ca 7-9 meter. Detta bekräftas av enkla tester gjorda på utrustningen i samband med ett studiebesök den 3 oktober 2005. Kastlängden på Södertörns system begränsas något av att man har en slanglängd på 100 meter som ger större tryckförluster än en kortare slang som egentligen är standard (75 m).

### Räddningstjänsten Landskrona

Räddningstjänsten Landskrona har sedan 2002 två släckbilar utrustade med högtryckssystem. Den ena släckbilen är utrustad med en centrumrulle och den andra släckbilen är utrustad med två centrumrullar. Bilarna är utrustade med pump från Ruberg. Båda slangarna är 80 meter långa och har invändig diameter på 19 mm.

Räddningstjänsten Landskrona har varit ledande i återinförandet av högtrycket i Sverige. Nya standardrutiner har provats fram för att underlätta högtrycksanvändningen. Flera olika typer av strålrör har testats, däribland det i denna rapport provade strålröret Dld0. Dagligdags används strålröret Leader Quadrafog med fyra olika flödesinställningar.



Figur 50. Räddningstjänsten Landskronas bil med två centrumrullar.

Som i Danmark använder Landskrona inte alltid 40 bars pumptryck. Istället använder man 20-30 bar på pumpen och en låg flödesinställning på strålröret för att likväl få ett högt strålrörstryck. Detta menar man är fullt tillräckligt för en lägenhetsbrand.

### Pris

Landskrona gav ca 100 000 kronor för sist system, men menar att den höga kostnaden delvis beror på att de var så tidigt ute och att de tog i lite extra.

### Kommentarer

Från enkäterna styrkeledare på Landskrona besvarat uttrycktes: ”Jag anser att detta är det mest revolutionerande in om räddningstjänsten på flera år.” Man var även nöjd med möjligheten att kunna koppla dimspik till högtrycksslangarna.

Som nackdelar nämndes att man önskade ha tillgång till ytterligare 80 meter slang och möjlighet att koppla in skum.

## B. Bilaga B – Tryck-flödeskurvor

Denna bilaga redovisar de tryck-flödeskurvor som uppmättes under två dagar ute på Räddningsverket i Revinge. Syftet var att utreda följande:

- Vilket maximalt flöde kan erhållas från 40 bar på pumpen med 60 m, 19 mm slang?
- Hur skiljer sig tryck-flödeskurvor åt mellan låg- och högtryckssystem samt de olika strålrören?

### *Försökuppställning*

Släckbil 301 i Revinge användes i försöken. Denne har en centrumrullad slang för 40 bars högtryck med längden 60 meter och inre diameter 19 mm.

Flödesmätningar gjordes genom att fylla en 200 liter stor tunna och mäta tiden. För tryckmätningar används dels den fordonsmonterade analoga tryckmätaren samt en tillkopplad tryckmätare.



Figur 51. Flödesmätning i 200 liters tunna.

### Strålrör

De strålrör som användes i försöken var följande:



Figur 52. Till vänster Unifire All Pressure Gun. Till Höger Rosenbauer NePiro.



Figur 53. Till vänster Akron Turbojet och till höger Fog Fighter för lågtryck.



Figur 54. Till vänster Dld0, till höger Akron 1704.



Figur 55. Till vänster Akron 4802, till höger Protek #322.



Figur 56. Till vänster AWG pn 40, till höger TFT Ultimate F07.



## Resultat

Strålrörens maximala flöden presenteras nedan i tabell 12 i fallande ordning.

**Tabell 12. Flöden hos strålrören vid 40 bars dämt pumptryck.**

Strålrör	Flöde [l/min] 40 bar inställt på pump, +/- 5 l/min	Strålrörstryck [Bar] +/- 1,5 bar.
TFT Ultimatic F07	211	6
Protek #322	203	7
Rosenbauer NePiro	191	12
Akron 4802	177	14
AWG pn 40 "130-lpm"-läge	174	13
Akron 1704, 115 lpm"-läge	171	16
AWG pn 40, "80-lpm"-läge	162	18
Unifire All Pressure Gun	160	20
Akron 1704, "90 lpm"-läge	143	22
AWG pn 40 "40-lpm"-läge	129	24
Dld0	99	30
Akron 1704, "50 lpm"-läge	67	33

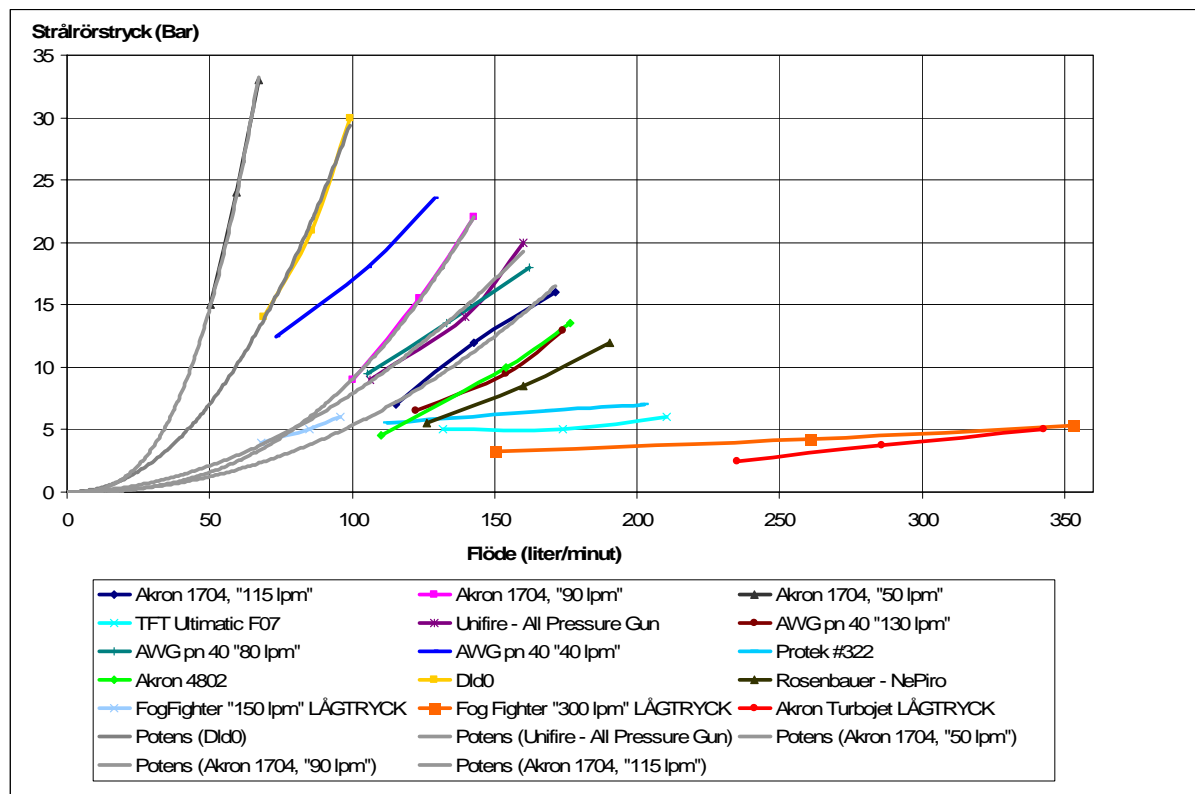
Tryck-flödeskurvor presenteras i figur 57. I denna ses att variationen inbördes mellan strålrören för ett 40 bars högtryckssystem varierar kraftigt.

Ordningen hos kurvorna i figur 57 har följande ordning sedd uppifrån och där kurvorna slutar i högerkant.

1. Akron 1704, "50 lpm"
2. Dld0
3. AWG pn 40, "40 lpm"
4. Akron 1704, "90 lpm"
5. Unifire – All Pressure Gun
6. AWG pn 40 "80 lpm"
7. Akron 1704 "115 lpm"
8. Fog Fighter "150 lpm", LÅGTRYCK (korta kurvan)
9. AWG pn 40 "130 lpm"
10. Akron 4802
11. Rosenbauer – NePiro
12. Protek #322
13. TFT Ultimatic F07
14. Fog Fighter "300 lpm" LÅGTRYCK
15. Akron Turbojet

OBS! Vissa av högtrycksstrålrören har tryckautomatik, varför de inte går att göra en trendanpassad kurva till dessa resultat. För de strålrör som med säkerhet saknar

tryckautomatik, har trendanpassade kurvor lagts in för att förtydliga skillnaderna mellan kurvorna. Dessa kurvor är de enda som börjar vid noll.



Figur 57. Tryck-flödeskurvor för testade strålrör på ett 40 bars högtryckssystem.

### Kommentarer av resultat

Mätnoggrannheten i flödesmätningarna var +/- 5 liter vilket slår olika i de olika mätningarna beroende på tiden för att fylla tunnan.

Det framgår tydligt att då de två ”lågtrycksstrålrören”, Fog Fighter och Akron-Turbojet används med sina största respektive flödesinställningar, har de mycket flackare kurvor än högtrycksstrålrören som alla dessutom ger betydligt lägre flöden.

Bland högtrycksstrålrören lyckas inte TFT Ultimate F07 och Protek #322 nå 10 bars strålrörstryck. I dessa fall är det tveksamt om dessa strålrör, tillsammans med den slang och pumpkonstellation som här använts, kan sägas ge de egenskaper som brukar förknippas med högtryckssystem.

Det framgår tydligt att det är viktigt att ha kännedom om strålrörens tryck-flödeskurvor eftersom de skiljer sig så kraftigt åt sinsemellan. Ligger huvuddelen av intresset på högtryckets tidsvinnande egenskaper, samtidigt som ett högt flöde eftersträvas, ska man ha ett strålrör med flack kurva. Sökes istället ett strålrör som ger ett högre strålrörstryck och lägre flöde, skall ett strålrör med brant kurva väljas.

Det finns även strålrör med inställbart flöde där det går att välja mellan ett lägre flöde och högre strålrörstryck samt högre flöde och lägre strålrörstryck.

### Dataunderlag

## Högtrycksbrandsläckning

De data som tryckflödeskurvorna bygger på redovisas i följande underlag.

Tabell 13. Mätresultat från tryck och flödesmätningar.

Strålrör	Inställt flöde [l/min]	Pumptryck [bar]	Strålrörstryck [bar] +/- 1,5 bar	Flöde [l/min] +/- 2%
<i>HÖGTRYCK</i>	115	18,5	7	115
Akron 1704	90	18,5	9	100
	50	19,5	15	50
	115	27	12	143
	90	28	15,5	124
	50	28,5	24	59
	115	36	16	171
	90	36	22	143
	50	38	33	67
TFT Ultimatic F07	-	18	5	132
	-	26	5	174
	-	34	6	211
Unifire- All Pressure Gun	-	19	9	106
	-	28	14	140
	-	38	20	160
Brissman	130	18	6,5	122
	80	19	9,5	105
	40	19	12,5	73
	130	27	9,5	154
	80	28	13,5	133
	40	28	18	105
	130	34	13	174
	80	35	18	162
	40	36	23,5	129
Protek #322	-	16	5,5	112
	-	26	6,5	169
	-	33,5	7	203
Akron 4802	-	16	4,5	110
	-	26,5	10	154
	-	34	13,5	176
Dld0	-	19,5	14	69
	-	28	21	86
	-	38	30	99
Rosenbauer Nepiro	-	18	5,5	126
	-	27	8,5	160
	-	35,5	12	190
<i>LÅGTRYCK</i>				
Akron Turbojet	-	4	2,5	235
	-	5,5	3,8	286
	-	7,6	5	343
Fog Fighter	-	4	3,3	150
	-	5,5	4,3	261
	-	7,8	5,3	353

### C. Bilaga C – Kastlängdförsök

I samband med tryck-flödes försöken på Revinge den 28 oktober och 11 november 2005 fotograferades varje strålrörs spraymönster från sidan. Vid fotograferingen var pumptrycket det maximala som användes under försöken vilket var knappt 8 bar för lågtrycksförsöken och

cirka 40 bar för högtrycksförsöken. Munstyckstrycken varierade med vilket strålrör som användes och redovisas i Tabell 18. Med hjälp av dessa bilder har konvinkeln uppmätts och kastlängden uppskattats. Då kastlängden bedömts har hänsyn tagits till dels vart den största delen av vattnet träffar marken och dels hur långt sprayen kan sägas vara kontrollerbar. Figur 58 visar ett exempel på hur konvinkeln uppmätts och Figur 59 visar ett exempel på hur kastlängden uppskattats.



**Figur 58. Konvinkeln, 55°, för Akron 1704, 115lpm-läget.**

För konvinkeln gäller att den uppmätts med en noggrannhet på ungefär 5°.



**Figur 59. Kastlängden, 5 meter, för D1d0.**

Den uppskattade kastlängden på den spridda strålen är ett subjektivt mått som kan variera metervis beroende på hur den exakt definieras av den som utför uppskattningen. Hur den redovisade sprayen ter sig på bild fluktuerar dessutom över tiden. I dessa försök användes en ”kontrollerbar” kastlängd som uppskattades till den längd där strålföraren fortfarande hade möjlighet att kontrollera var vattnet hamnade i längd och sidled.

Mätfelen vid uppmätning av konvinkel är försumbara jämfört med felen vid uppskattning av kastlängden.

Här nedan presenteras samtliga spraymönster med strålrörstyp, konvinkel och uppskattad kastlängd angivet.

*Akron Turbojet - Lågtryck*

Konvinkel: 40°

Uppskattad kastlängd: 7 meter



**Figur 60. Akron Turbojet – kastlängd.**



**Figur 61. Akron Turbojet – konvinkel.**

*Dld 0 - Högtryck*

Konvinkel: 40°

Uppskattad kastlängd: 5 meter



**Figur 62. Dld0 – konvinkel.**



**Figur 63. Dld0 – kastlängd.**

*Fogfighter - Lågtryck*

Konvinkel: 50°

Uppskattad kastlängd: 6 meter



**Figur 64. Fogfighter – konvinkel.**



**Figur 65. Fogfighter – kastlängd.**



*Rosenbauer Nepiro - Högtryck*

Konvinkel: 60°

Uppskattad kastlängd: 5



**Figur 66. Rosenbauer Nepiro – konvinkel.**



**Figur 67. Rosenbauer Nepiro – kastlängd.**

*Unifire APG - Högtryck*

Konvinkel: 40°

Uppskattad kastlängd: 6 meter



**Figur 68. Unifire APG – konvinkel.**



**Figur 69. Unifire APG – kastlängd.**

*Akron 1704, 50lpm-läget - Högtryck*

Konvinkel: 85°

Uppskattad kastlängd: 3 meter



**Figur 70. Akron 1704, 50lpm-läget – konvinkel och kastlängd.**

*Akron 1704, 90lpm-läget - Högtryck*

Konvinkel: 75°

Uppskattad kastlängd: 4 meter



**Figur 71. Akron 1704, 90lpm-läget – konvinkel.**



**Figur 72. Akron 1704, 90lpm-läget – kastlängd.**

*Akron 1704, 115lpm-läget - Högtryck*

Konvinkel: 55°

Uppskattad kastlängd: 5 meter



**Figur 73. Akron 1704, 115lpm-läget – konvinkel.**



**Figur 74. Akron 1704, 115lpm-läget – kastlängd.**

*AWG pn 40*

Konvinkel: 50°

Uppskattad kastlängd: 5 meter



**Figur 75. AWG pn 40 – konvinkel.**



**Figur 76. AWG pn 40 – kastlängd.**

*Protek #322 - Högtryck*

Konvinkel: 45°

Uppskattad kastlängd: 5 meter



**Figur 77. Protek #322 – konvinkel.**



**Figur 78. Protek #322 – kastlängd.**

*TFT Ultimatic - Högtryck*

Konvinkel: 40°

Uppskattad kastlängd: 5 meter



**Figur 79. TFT Ultimatic – konvinkel.**



**Figur 80. TFT Ultimatic – kastlängd.**



### Jämförelse mellan beräknad och uppskattad kastlängd

Följande formel gäller för beräkning av kastlängd för spridd stråle (Särdqvist 2002):

$$l_{\max} = \frac{4,0935 \cdot q^{0,36} \cdot p^{0,28}}{\alpha^{0,57}}$$

För att verifiera denna jämförs de uppskattade kastlängderna med beräknade kastlängder. För att beräkna kastlängden har de konvinklar som uppmättes från försöken och redovisats tidigare i denna bilaga, använts.

Tabell 14. Jämförelse mellan beräknad och uppskattad kastlängd.

Strålrör	Strålrörstryck (bar)	Flöde (l/min)	Uppmätt konvinkelt (°)	Beräknad kastlängd (m)	Uppskattad kastlängd (m)	Uppskattad längd utav beräknad längd
Akron 1704, 50lpm	16	171	85	4,5	3	67%
Akron 1704, 90lpm	22	143	75	5,0	4	80%
Akron 1704, 115lpm	33	67	55	5,0	5	100%
TFT Ultimatic F07	6	211	40	5,7	5	88%
Unifire APG	20	160	40	7,2	6	83%
AWG pn 40	23,5	129	50	6,1	5	82%
Protek #322	7	203	45	5,5	5	91%
Akron 4802	13,5	176	55	5,6	6	107%
Dld0	30	99	40	6,8	5	74%
Rosenbauer Nepiro	12	190	60	5,3	5	94%
Akron Turbojet	5	343	40	6,4	7	109%
Fogfighter	5,3	353	50	5,8	6	67%

### Slutsats kastlängd

Den beräknade kastlängden varierar mellan 4,5 och 7,2 meter. Den uppskattade kastlängden varierar mellan 3 och 7 meter. De två lågtryckssystemen har relativt goda kastlängder i denna jämförelse. Formeln tycks således vara användbar även vid beräkningar på kastlängd från 40 bars högtryckssystem.

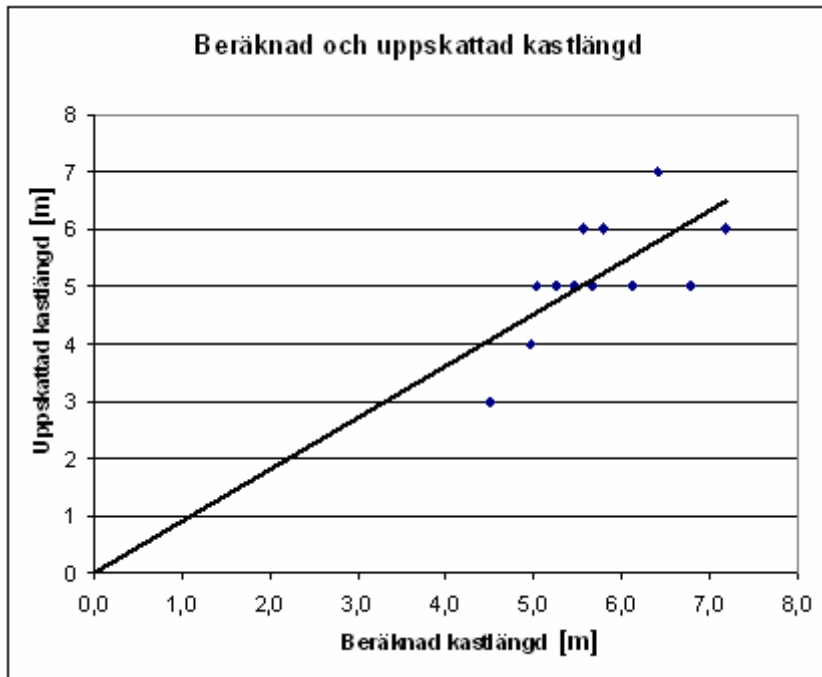


Diagram 1. Jämförelse mellan beräknad och uppskattad kastlängd

Diagrammet visar att det finns en viss överensstämmelse mellan den beräknade och den uppskattade kastlängden. Trendlinjen får ekvationen;  $0,9012x$  och har  $R^2$ -värdet:  $0,4502$ , det vill säga att formeln överskattar den uppskattade kastlängden då denna i snitt är 90 % av den beräknade.

## D. Bilaga D - Strålbildsförsök

För att undersöka om strålrörsstandarden för lågtrycksstrålrör SS 3500 även är tillämpbar på strålrör till 40 bars högtryckssystem, och för att se om dessa strålbilder har ett karaktäristiskt utseende gjordes strålbildsförsök på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) den 8 december 2005.

Med vid försöken var Ulf Bergh från räddningstjänsten Landskrona med den högtrycksutrustade släckbilen 401 från samma räddningstjänst.

Mätningar av strålbilden för strålrör med strålrörstryck motsvarande lågtryck finns genomfört och beskrivet av Handell (2000).

### *Försöksuppställning*

Försöksuppställningen följde den i standarden SS 3500 beskrivna uppställningen för strålbildsmätning. För en detaljerad beskrivning hänvisas till denna standard. I korthet byggde försöksuppställningen på en rigg med 97 uppsamlingsrör som mynnade ut i varsin plastflaska för uppsamling av vatten.



**Figur 81. Försöksriggen med 97 uppsamlingsrör och flaskor.**

Det strålrör som testades placerades på gafflarna till en mindre truck för att underlätta inställningen i höjddled, se figur 82. Avståndet mellan strålrör och rigg var tre meter och höjden justerades till att motsvara riggens mittlinje. Mynningen på strålröret hamnade således mitt framför centrum på försöksriggen.



**Figur 82. Strålrörets placering.**

Strålröret öppnades och hölls öppet under minst en minut, hela tiden riktat mot försöksriggen.



**Figur 83. Strålröret i öppet läge riktat mot försöksriggen.**

Efter att strålröret stängts mättes innehållet i plastflaskorna manuellt med hjälp av mätglas, se Figur 84.

Följande värden användes:

- Dämt pumptryck: 40 bar.
- Avstånd till mätställning: 3 meter.



Figur 84. Mätning av innehållet i plastflaskorna.

Med kännedom om hur lång tid strålröret varit öppnat, uppsamlingsrörets diameter samt volymen uppsamlat vatten i flaskorna kunde för varje rör en vattentäthet i mm/min beräknas.

### Fordringar

De fordringar som ställs i standarden har haft som syfte att se till så att tillräckligt strålbilden ger en tillräckligt vid stråle samtidigt som skillnaden i vattentäthet sett ur strålbildens tvärsnitt, inte ska vara för ojämn. Följande kriterier finns angivna i standarden SS 3500.

Täckningsytan är de rör som utsätts för en vattentäthet större än 10 mm/min.

#### Fordringar spridd stråle (lågtryck)

**F1:**  $0,5 \cdot V_m < 0,1 \cdot \text{täckningsarean}$  (Strålen får inte vara för spridd i förhållande till den mängd vatten som kan levereras).

**F2:**  $V_{\max} < 5 \cdot V_m$  (Skillnaden i var vattnet hamnar får inte vara för stor).

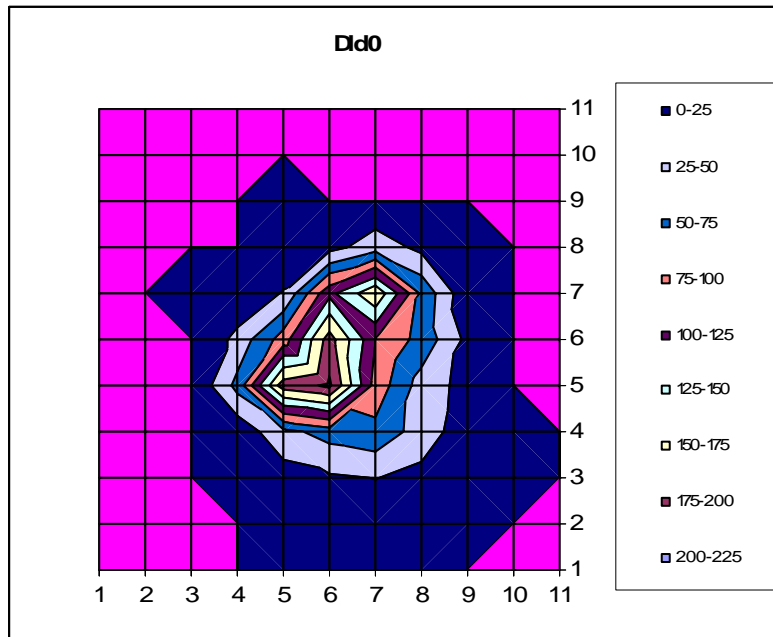
### Resultat

Följande resultat erhöles:

Tabell 15. Resultat från mätningar.

Strålrör	Strålrörstryck [bar]	$V_{\text{medel}}$ [mm/min]	$V_{\text{max}}$ [mm/min]	Täckningsarea [m <sup>2</sup> ]	F1	F2
Dld0	28,5	56	204	1,2	nej	ja
Akron 1704	10,5	61	167	1,76	nej	ja
TFT Ultimatic F07	6,5 bar	76	176	1,72	nej	ja
Unifire APG	13	58	156	1,96	nej	ja
AWG pn 40	8,5	53	402	1,48	nej	nej
Protek #322	7,5	74	150	1,68	nej	ja
Akron 4902	9,5	85	207	1,48	nej	ja

Dld0

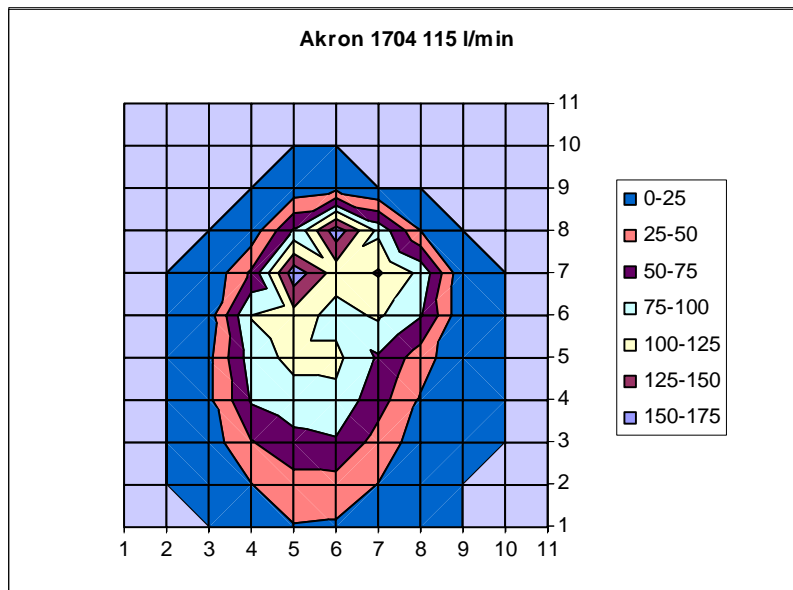


Figur 85

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	0,00	2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	3,97	15,33	39,65	18,50	16,39	0,00	0,00
5	0,00	0,00	1,32	5,29	26,43	118,96	171,83	71,37	2,64	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	31,72	87,24	187,69	100,45	66,09	18,50	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	58,16	190,33	203,55	89,88	39,65	15,86	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	7,93	42,30	60,80	68,73	37,01	12,42	2,64	0,00
9		0,00	0,00	3,97	12,42	20,35	25,64	18,50	6,61	3,97	
10			0,00	0,00	5,29	7,93	8,46	3,97	2,64		
11				0,00	1,32	1,32	1,32	1,32			

Figur 86. Dld0 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

Akron 1704

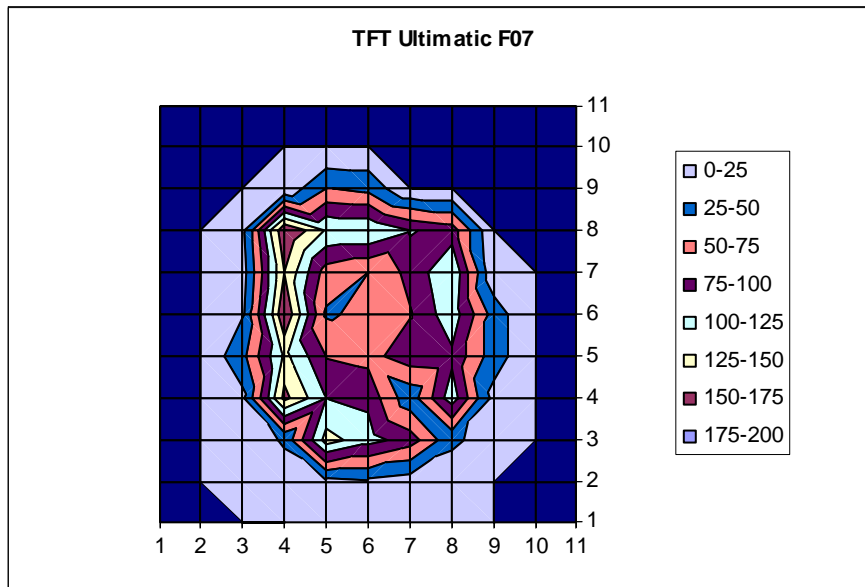


Figur 87

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0	0	0	0	0			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0	0,00	0,00	10,10	14,88	0,00	0,00	0,00	0	
4	0	0	0,00	7,97	77,07	164,76	93,01	23,39	0,00	0	0
5	0	0	2,66	53,15	167,42	111,61	127,56	93,01	2,66	0	0
6	0	0	10,63	100,98	114,27	90,35	103,64	77,07	5,31	0	0
7	0	0	18,60	87,70	106,30	106,30	71,75	37,20	1,33	0	0
8	0	0	18,60	77,07	90,35	93,01	61,12	21,79	5,31	0	0
9		0	12,22	47,83	66,44	71,75	38,80	13,29	1,33	0	
10			10,10	23,92	39,86	39,86	23,92	7,97	0,00		
11				18,60	23,39	21,26	15,94	3,99			

Figur 88. Akron 1704 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

TFT Ultimate F07



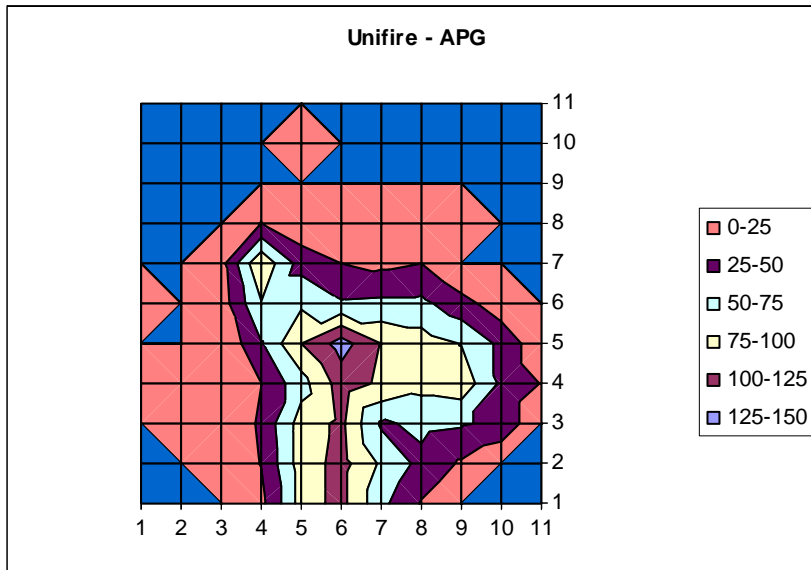
11.1.1  
Figur 89

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0	0	0	0	0			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	4,41	51,11	44,06	0,00	0,00	0,00	0	
4	0	0,00	17,62	176,23	123,36	123,36	102,80	88,12	0,00	0	0
5	0	0,00	15,86	149,80	61,68	49,93	82,24	123,36	5,87	0	0
6	0	0,00	23,50	170,36	47,00	55,81	73,43	117,49	38,18	0	0
7	0	0,00	43,47	132,17	73,43	67,56	88,12	93,99	38,18	0	0
8	0	0,00	17,62	158,61	99,87	93,99	32,31	114,55	14,69	0	0
9		0,00	4,41	29,37	135,11	111,61	88,12	32,31	5,87	0	
10			2,94	7,34	19,09	20,56	13,22	2,94	0,00		
11				0,00	5,87	5,87	5,87	2,94			

Figur 90. TFT Ultimate F07 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.



Unifire – APG

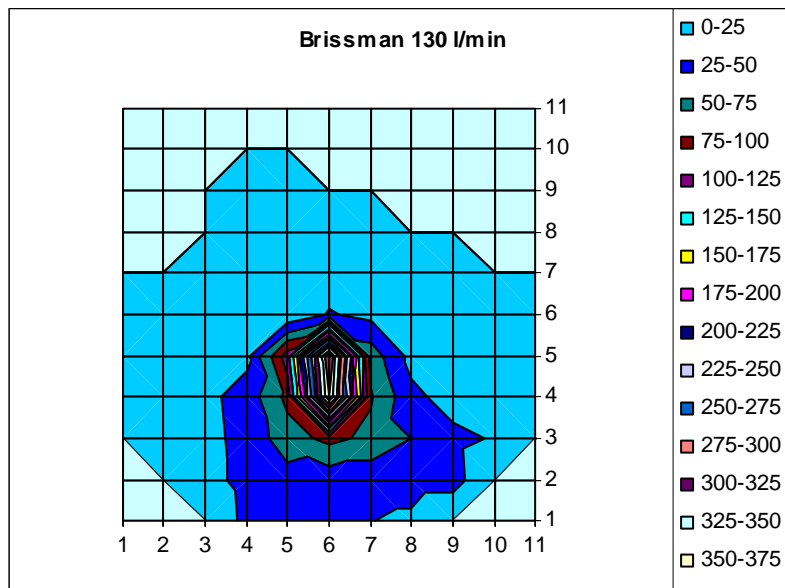


Figur 91

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
2			0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	25,42	6,20	6,20	3,10	1,55	3,10	0,00	0,00
5	0,00	0,00	16,74	96,11	40,31	24,80	18,60	24,80	0,00	0,00	0,00
6	1,55	0,00	11,78	74,41	71,31	52,71	55,81	55,81	34,10	11,16	0,00
7	0,00	0,00	1,55	48,37	99,21	136,42	99,21	86,81	74,41	43,41	6,20
8	1,55	1,55	4,65	24,80	65,11	111,61	96,11	83,71	89,91	43,41	23,25
9		0,93	3,10	28,52	86,81	105,41	46,51	55,81	52,71	43,41	
10			3,10	26,04	86,81	108,51	71,31	43,41	21,70		
11				15,50	86,81	108,51	55,81	22,63			

Figur 92. Unifire - APG med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

AWG pn 40

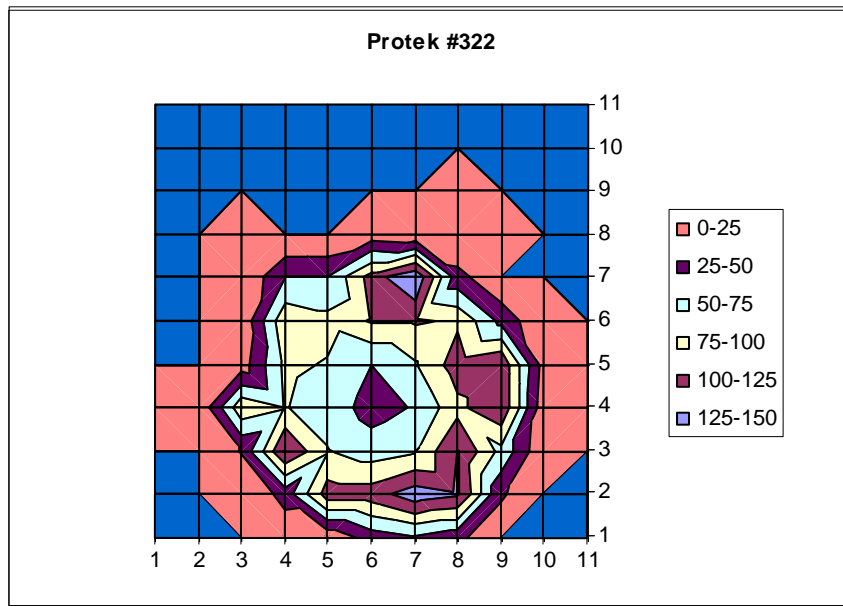


Figur 93

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0	0	0	0	0			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	2,28	4,57	4,57	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	4,57	4,57	2,28	9,13	4,57	4,57	1,37	0,00	0,00
6	2,28	1,37	6,85	4,57	2,28	27,40	18,26	9,13	9,13	4,57	2,28
7	0,00	2,28	2,28	18,26	114,15	401,81	63,92	15,98	9,13	11,42	4,57
8	4,57	4,57	18,26	36,53	82,19	378,98	77,62	31,96	13,70	11,42	11,42
9		2,28	15,98	34,25	62,55	82,19	68,49	50,23	31,96	22,83	
10			14,61	33,79	41,09	34,70	34,70	35,62	35,62		
11				32,88	33,79	35,62	25,57	20,09			

Figur 94. AWG pn 40 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

Protek #322

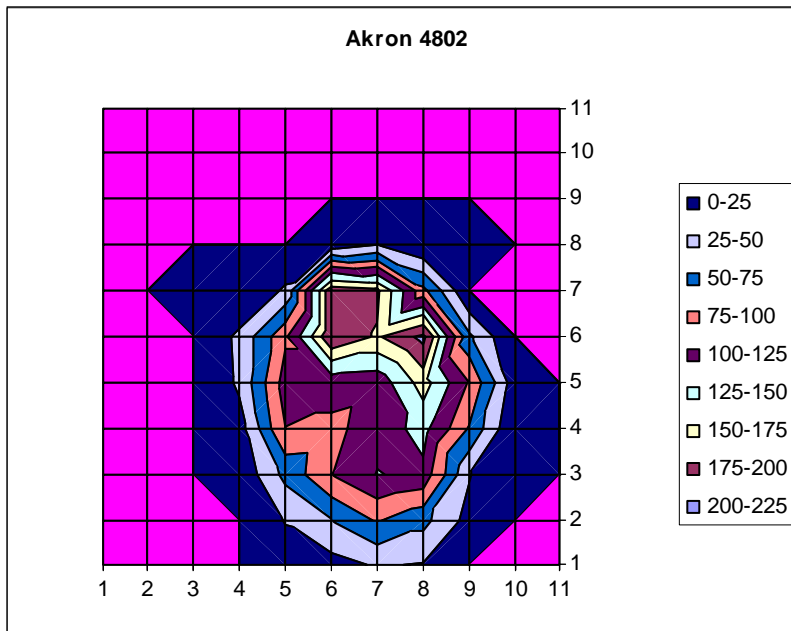


Figur 95

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00	8,65	4,99	1,66	1,66	0,00	0,00
5	0,00	0,00	1,00	49,89	49,89	113,09	149,68	33,26	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	3,33	93,14	83,16	103,11	103,11	96,46	43,24	1,00	0,00
7	0,00	0,00	12,31	79,83	73,18	49,89	73,18	113,09	123,07	9,98	0,00
8	1,00	1,00	93,14	76,50	63,20	39,92	51,89	93,14	123,07	6,65	1,00
9		0,00	26,61	126,40	76,50	63,20	73,18	126,40	66,53	4,99	
10			1,66	33,26	113,09	113,09	139,70	129,72	29,94		
11				10,64	7,32	33,93	45,90	32,60			

Figur 96. Protek #322 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

Akron 4802



Figur 97

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1				0	0	0	0	0			
2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,43	24,54	1,92	1,15	0,00	0,00
5	0,00	0,00	1,15	1,92	29,14	195,54	180,20	84,35	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	29,91	95,85	195,54	172,53	207,04	54,44	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	29,14	111,19	111,19	107,35	161,03	99,69	12,27	0,00
8	0,00	0,00	0,00	15,34	99,69	93,93	111,19	134,19	72,85	1,92	0,00
9		0,00	0,00	3,83	57,51	99,69	126,52	118,86	26,84	1,92	
10			0,00	0,00	26,84	49,84	76,68	57,51	17,25		
11				0,00	7,67	15,34	27,61	23,00			

Figur 98. Akron 4802 med täckningsytan markerad. Vattentäthet i mm/min.

**Felkällor**

Då anläggningen för tillfället hade problem att samla upp stora mängder släckvatten riktades strålen ut genom en öppen dörr. Detta är ett avsteg från standarden som föreskriver att mätningarna ska ske inomhus. Avsteget innebär att vinden i viss mån har påverkat resultaten, dock påverkar detta mest den vertikala symmetrin i bilderna.

Precisionen i strålrörstryck kan endast ges med ca 2 bars noggrannhet.

**E. Bilaga E – Tryckfall i slang**

För att erhålla ett värde på tryckfallet i formstabil slang har tryckfallet mätts över dels 40 meter slang, vilket var ordinarie slanglängd kopplad på släckbilen (301, Revinge). Och dels över den totala längden 80 meter efter dess att 40 meter extraslang kopplats på.

**Resultat**

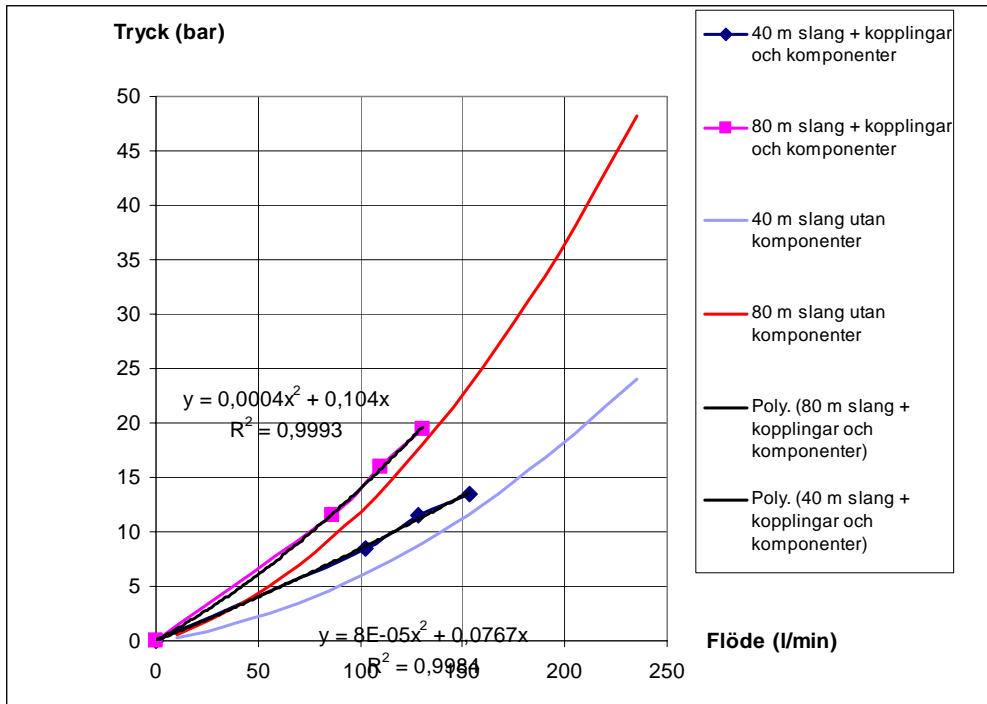
Tabell 16. Mätdata från tryckfallsmätningar.

<b>40 m</b>				
Dämt pumptryck	20	30	40	bar
Öppet pumptryck	19	28	37	bar
Dämt strålrörstryck	18	28	38	bar
Öppet strålrörstryck	10,5	16,5	23,5	bar
Öppen tryckskillnad	8,5	11,5	13,5	bar
Flöde	102	128	153	l/min
<b>80 m</b>				
Dämt pumptryck	20	30	40	bar
Öppet pumptryck	19	28	36,5	bar
Dämt strålrörstryck	18	28	38	bar
Öppet strålrörstryck	7,5	12	17	bar
Öppen tryckskillnad	11,5	16	19,5	bar
Flöde	87	110	130	l/min

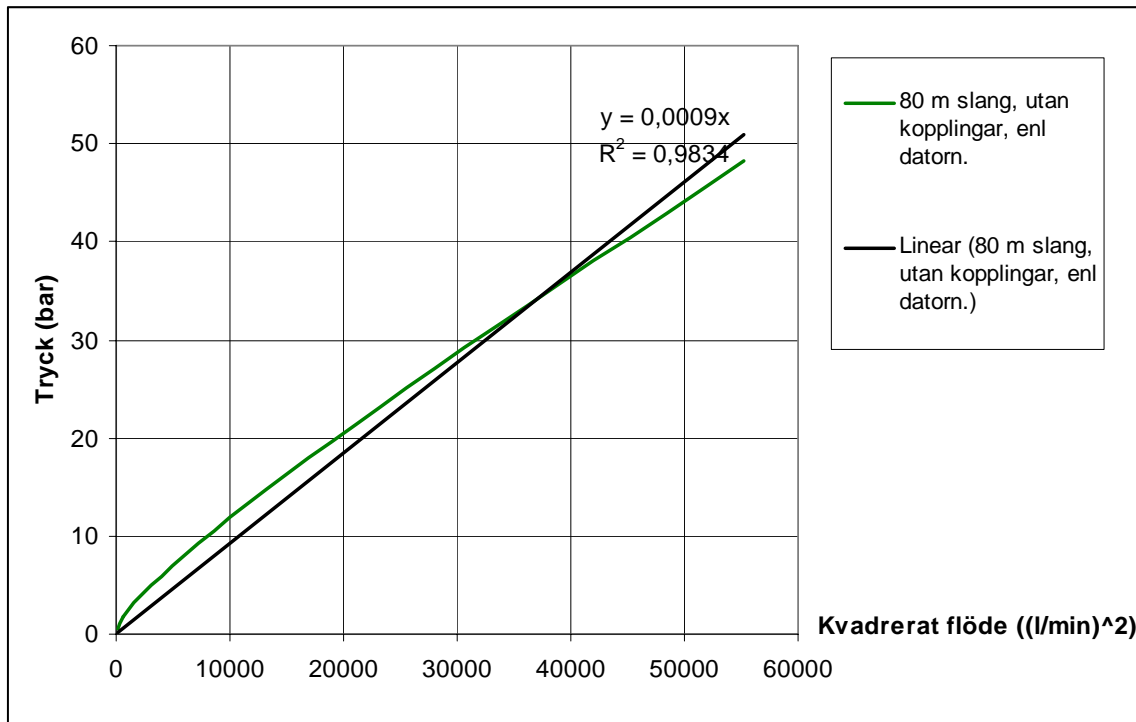
Med hjälp av ovan mätdata har en beräkning gjorts för att få ett slangspecifikt k-värde. Detta har gjorts på två sätt, och resultatet är ett medelvärde av de två, vars värde skall ses som storleksordningen.

Det första sättet är att låta datorn anpassa en funktion till de erhållna mätpunkterna. Detta genererar dock ett polynom av typen:  $p = 0,000a \cdot q^2 + 0,00b \cdot q$ . Eftersom sambandet mellan tryck och flöde ska se ut som:  $p = 0.000c \cdot q^2$  blir här ett litet fel. Likväl kan en bra punktanpassning göras med ett polynom över skillnaden mellan de av datorn givna polynomen för de två olika slanglängderna. I nästa läge kan de tryckvärden som beräknas ur detta polynom sättas mot kvadraten på flödesvärdena. Av detta kan i sin tur en linjärregression göras. Ur denna linje beräknas sedan k-värdet per meter slang. Denna procedur genererade värdet:  $1,125 \cdot 10^{-5}$ .

## Högtrycksbrandsläckning

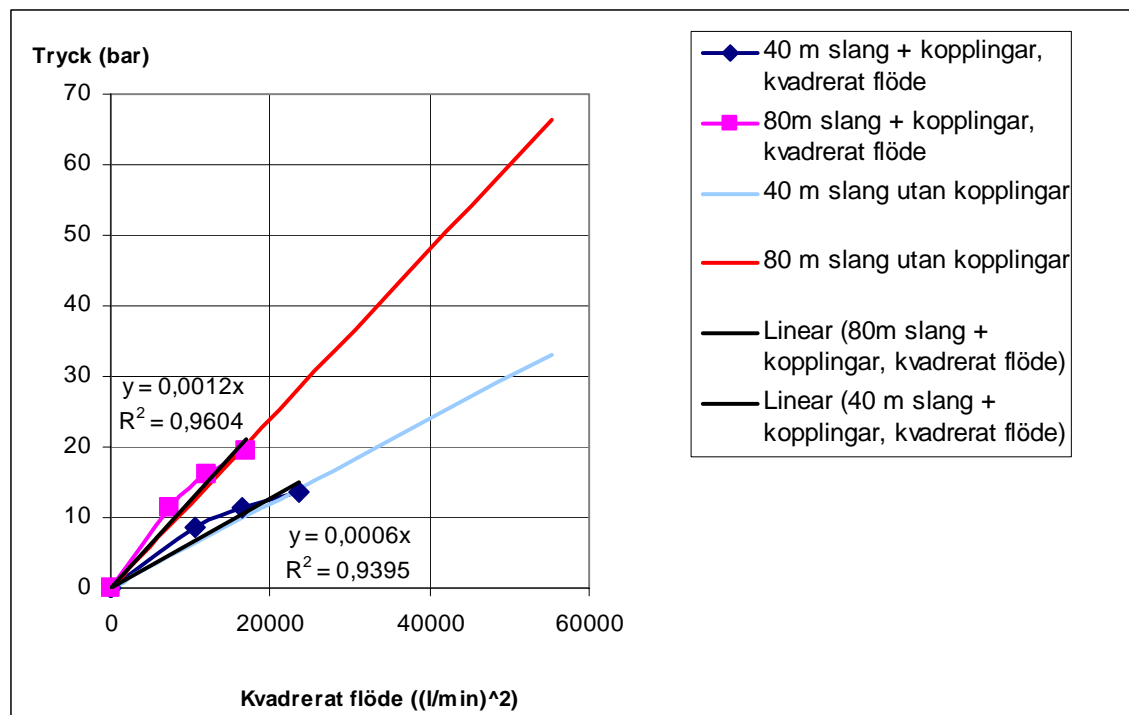


Figur 99. Polynompassade ekvationer till mätvärden enligt datorn.



Figur 100. Polynomräknat tryck mot kvadrerat flöde. Lutningen på linjärpassningen är k-värdet för 80 m slang.

Det andra sättet är att ställa upp de uppmätta värdena mot det kvadrerade flödet direkt för att därefter göra en linjärregression på skillnaden mellan de uppmätta värdena. Resultatet ges i figur 101:



Figur 101. Uppmätt tryck mot kvadrerat flöde. Linjärregressioner på dessa.

Erhållna värdet blev:  $1,5 \cdot 10^{-5}$ .

Medelvärdet av dessa två är  $0,000013125 \approx 1,3 \cdot 10^{-5}$ . Detta bör tolkas som att k-värdet för denna slang är i häraden  $1,3 \cdot 10^{-5}$ , kring detta flöde.

Tryckfall med hjälp av k-faktorn beräknas med följande samband:

$$p_f = k \cdot l \cdot q^2$$

## F. Bilaga F – Statistik bostads- och hyresrätter

Följande statistik ger en vägledning om den genomsnittliga storleken på lägenheter.

Tabell 17. Genomsnittliga ytor för lägenheter. Källa: SCB, 2005.

Kommun	Hyresrätter	Bostadsrätter
	Genomsnittlig yta (m <sup>2</sup> )	Genomsnittlig yta (m <sup>2</sup> )
Stockholm	65	69
Göteborg	66	69
Malmö	71	71
Uppsala	69	75
Linköping	71	79
Norrköping	69	73
Örebro	68	83

## G. Bilaga G - Svarssammanställning av enkätsvar

Enkäter skickades ut till vissa räddningstjänster som använder 40 bars högtryckssystem. Två typer av enkäter medsändes. Dels en generell enkät om systemet i allmänhet och dels en enkät riktad till styrkeledare.

De fyra räddningstjänster som valdes ut var Räddningstjänsten Storgöteborg, Räddningstjänsten Jönköping, Gästrike Räddningstjänst och Räddningstjänsten Landskrona. Dessa har valts mer eller mindre godtyckligt. Räddningstjänsten i Landskrona är med svenska mått mätt en erfaren högtrycksutnyttjare. Räddningstjänsten Jönköping kontaktades på tidigt stadium av annan anledning. Räddningstjänsten Storgöteborg är en stor räddningstjänst och relativt färsk högtrycksanvändare. Gästrike Räddningstjänst har 1 tums slang och var därför intressant då övriga tre räddningstjänster som besvarade enkäterna har  $\frac{3}{4}$  tums slang.

### *Allmän enkät*

Samtliga räddningstjänster besvarade den allmänna enkäten.

Anskaffningsåret för högtryckssystemet angavs till:

Storgöteborg: 2005.

Gästrike: 2003.

Jönköping: 2003.

Landskrona: 2002.

Antalet bilar med högtryckssystem är *en* förutom Landskrona som har *två* fordon med högtryckssystem.

Samtliga använder pump från Ruberg.

I tre fall anges slanglängden till 80 meter.

Räddningstjänsten Landskrona har ett fordon med två centrumrullar, i övrigt används endast fordon med en centrumrulle.

Anskaffningspriset varierar mellan 40 000 och 100 000 sek och detta omfattar kostnaderna för pump, centrumrulle, slang och strålrör.

### *Styrkeledarenkät*

På styrkeledarenkäten erhöles totalt 13 svar från de fyra kårerna.

Tiden för högtrycksanvändning varierade enligt följande:

Storgöteborg: 7 månader.

Gästrike: 1,5 – 2,5 år.

Jönköping: 2 – 2,5 år.

Landskrona: 3 – 4 år.

På frågan om den uppskattade andelen insatser med högtryck har svaren varierat, troligen p.g.a. vagt formulerad fråga.

En styrka i Jönköping anger att 40 bars högtryck används vid 100 % bil- och containerbränder, 75 % gräsbränder och 50 % lägenhetsbränder.

En styrka i Storgöteborg angav antalet insatser till 5 – 7 stycken.

I Gästrike varierar användningen kraftigt mellan styrkorna, från ca 10 % till 80 %.

I Landskrona där systemet använts 3 – 4 år anges nyttjandegraden till 80 – 100 %.

Bland fördelarna med högtryck lyfte alla enkätsvar utom ett fram snabbheten, och fördelen i att snabbt få vatten på branden.



Av de 13 enkätsvaren anger 7 minskade vattenskador och 2 effektiv brandgaskylning.

Bland nackdelarna angavs begränsad slanglängd och avsaknad av möjlighet att bygga ut systemet (3 st). I Gästrike har man bland annat svarat följande: hård och svårmanövrerad slang, tungt med slangdragning, framförallt i trapphus. I Göteborg uttrycktes oro över att möjlighet saknas att koppla in två bilar för att säkra tillgång till vatten. Totalt har 6 enkäter svarat att högtryckets effektivitet i samband med större brandgasvolym är tveksam eller dålig.

På frågan om vad som saknas hos högtryckssystemet eller vad som bör undersökas mer uttrycker samtliga enkätsvar från Jönköping missnöje med strålrören. I Landskrona undrar de svarande kring möjlighet att blanda in skum.

Övriga kommentarer:

”Jag anser att detta är det mest revolutionerande inom räddningstjänsten på flera år.”

”Inte allena rådande, men ett bra komplement.”

”Passar utmärkt att komplettera dimspik (*författarnas anmärkning: HT*), jämfört med dimspik för lågtryck.”

”Mycket bra.”

”Ett bra komplement till traditionella lågtryck (fog) och skärsläckare.”

På de två följande sidorna följer de två enkäter som skickades ut.

**Allmän enkät om högtryckssystemet**

Ifylld av: .....tjänst: .....

Datum: .....

- Anskaffningsår för första, nygamla högtryckssystemet:
- Antal och typ (fabrikat) av bilar med högtryckssystem:
- Vilket pumpfabrikat och vilket modell har Ni:
  
- Slangtyp (fabrikat) och slanglängd:
- Antal slang/centrumrullar per bil:
- Munstycke/strålrör (fabrikat och finesser, t.ex kan justera flödet..):
  
- Karosstilverkare:
- Ungefärligt anskaffningspris (bara utrustning, ej bil):
  
- Ungefärliga övriga kostnader (utbildning, information, upphandling etc):
  
- Hur ser det skift ut som använder högtryck? Även bemanning i bil:
  
- Har ni särskilda instruktioner/riktlinjer för användandet av högtryck (och får vi så fall ta del av dessa?):
  
- Hur mycket utbildning har föregått införandet av högtryckssystemet:
  
- Har ni foton på bilar/system/insatser som vi får använda i vår rapport:
  
- Övriga synpunkter:

**Enkät till Styrkeledare eller motsvarande.**

Ifylld av:.....

Datum:.....

- Antal år Du använt högtryck:
- Uppskattad andel insatser med högtryck sedan införandet:

*I följande frågor förutsätts att Du upplevt skillnader mellan låg- och högtryckssystem. Kan du inte svara på frågan så skriv varför.*

- Fördelar med högtryck, viktigast först:
- Nackdelar med högtryck, viktigast först:
- Personliga åsikter jag har om högtrycksanvändning:
- Detta saknar jag hos högtryckssystemet eller skulle vilja att det undersöktes mer:

Övriga kommentarer:

Tack för Er medverkan / Mattias o Johan

## H. Bilaga H - Slangutläggningsförsök

För att undersöka hur skillnaden i angreppstid varierar mellan vilket släcksystem som används samt vilken metod för förvaring och uppkoppling av slangar som används genomförde försök vid Räddningsverkets Skola i Revinge den 28 oktober 2005.

### *Genomförande*

Försöken genomfördes i det så kallade brandövningshuset. Scenariot var att brandmännen skulle genomföra en inträngning till en lägenhet på tredje våningen. Slangdragning skede igenom trapphuset och slangen drogs igenom mellanrummet mellan trapporna. Varje försök avslutades med att vatten sprutades från angreppspunkten ut genom ett fönster på översta (tredje) våningen i övningshuset.



**Figur 102.** Brandövningshuset där slangutläggningsförsök gjordes.

Vid försöken användes tre slang- och släcksystem. Dessa är valda för att motsvara de vanligast förekommande bland svenska räddningstjänster samt för att vara representativa för de olika arbetsuppgifter som kommer an på de olika rollerna i räddningstjänsternas rökdykarorganisationer. Dessa tre slang- och släcksystem användes:

1. Ett lågtryckssystem med färdigkopplad grovslang och grenrör. Två längder smalslang i korg med strålröret upphängt på samma korg.
2. Ett lågtryckssystem med tre längder färdigkopplad smalslang och med påkopplat strålrör.
3. Ett högtryckssystem med 40 meter formstabil slang på centrumrulle.

Vid samtliga försök arbetade tre personer varav en person skötte pumpen (pumpskötare) och två personer deltog aktivt i slangdragningen (rökdykare, rökdykare/rökdykarledare). Dessa två personer är tillika rapportförfattarna. Varje metod genomfördes tre gånger. Rökdykarna utgick från släckbilens baksäte och tiden mättes från det att släckbilens dörrar öppnades till dess att en kontinuerlig vattenstråle, det vill säga avluftad stråle, kunde avges från översta våningen.

Arbetsordningen för lågtryckssystemet, metod 1 var att grovslangen och grenröret var på förhand utlagt på baspunkten för att simulera det moment som pumpsötaren skulle ha genomfört. En av rökdykarna hämtar slangkorg i skåp på släckbilen. Därefter rullar rökdykarna ut varsin slang varefter en rökdykare fäster strålrör och påbörjar slangdragning upp i trapphuset. Den andra rökdykaren är under resten av förloppet behjälplig med att mata slang i trapphusets bottenplan samt att arbeta för att få slangen veckfri och i lämpliga manöverbågar.

Arbetsordningen för lågtryckssystemet, metod 2 var att de färdigkopplade tre längderna smalslang låg ihoprullade utanför pumpluckan bakom bilen med strålröret påkopplat. En rökdykare fattar strålröret och påbörjar slangdragning upp i trapphuset. Den andra rökdykaren är under hela förloppet behjälplig med att mata slang i trapphusets bottenplan samt att arbeta för att få slangen veckfri och i lämpliga manöverbågar.



Figur 103. Tre färdigkopplade slanglängder med strålrör, metod 2.

Arbetsordningen för högtryckssystemet var att en rökdykare öppnar bakre luckan på släckbilen, fattar strålröret och påbörjar slangdragning upp i trapphuset. Den andra rökdykaren är behjälplig med att rulla ut slang från centrumrullen.

### Resultat

De tider som utgör resultaten redovisas nedan i Tabell 18.

Tabell 18. Resultat från försök

System	Försök #	Utläggningstid (s)	Vattenfyllnadstid (s)	Total tid (s)
LT 1	1		-	83
	2	51	24	75
	3		-	79
LT 2	1	36	24	60
	2	30	27	57
	3	29	27	56
HT	1	46	0	46
	2	45	0	45
	3	31	0	31

Tiderna varierar beroende på agerandet hos rökdykarna. I två av tre fall är det sista genomförandet det mest lyckade. Då de agerande var oövade och relativt osnärtiga är det de mest lyckade genomförandena som ligger närmast de tider som kan förväntas av de brandmän som utför uppgiften hos svenska räddningstjänster. Något kortare tider är att förväntas om försöken genomförts ytterligare gånger.

### *Felkällor*

Felkällorna kan delas in i dels de felkällor som berör försökens validitet och dels de som berör försökens reliabilitet. Med validiteten menas här hur giltiga resultaten är jämfört med verkliga förhållanden. Med reliabilitet menas här hur hög tillförlitlighet den använda mätmetoden har och hur stora mätfel metoden ger.

### *Validitet*

Validiteten i försöken avgörs främst av det valda scenariot, de valda metoderna för slangutläggning samt av de agerande.

Att bara använda ett scenario sänker validiteten hos försöken. Ett annorlunda resultat kan förväntas om försök genomförs med slangutläggning på endast plan mark. Små detaljer får ett stort genomslag på resultaten då endast ett scenario används, exempelvis avståndet i mitten mellan trapporna samt avståndet mellan släckbil och baspunkt.

Standardrutinerna vid rökdykning skiljer sig åt mellan räddningstjänsterna i landet. Att i försök prova var och en av de olika rutiner som används var inte görligt inom tidsramen för denna rapport och är knappast rimligt vägt mot den ökade validitet detta innebär.

Att bara använda tre agerande samt att två av dessa inte arbetar som brandmän sänker validiteten. Att endast tre agerande användes innebär att inte alla roller i rökdykarorganisationen tillsattes vilket dock innebär en relativt liten felkälla jämfört med resterande felkällor. Att otränade personer agerar är också en relativt liten felkälla då dessa fort kan tillgodogöra sig det begränsade kunnande och handhavande som krävs tack vare försökens begränsade omfattning. Detta faktum påverkar dock reliabiliteten vilket beskrivs nedan.

### *Reliabilitet*

Att försöken med de kortaste tiderna i två fall av tre är de sist genomförda med respektive metod tyder på att mer övning för de agerande skulle ha gett ett bättre och mer tillförlitligt resultat. I samtliga fall borde försöken upprepats minst så länge att tiderna inte längre kortades. Då arbetsbelastningen var måttlig påverkades inte de agerande av någon trötthetseffekt.

Då pumpen styrdes manuellt kan pumptrycket ha ökats med olika hastighet vilket påverkar vattenfyllnadstiden. Denna tid påverkas vidare av hur slangen är utlagd på planen framför övningshuset. Slangen utlades olika i de olika försöken.

### *Diskussion*

De tider som är de mest rättvisande och som därför används i denna rapportens huvuddel är de kortaste tiderna för varje metod.

En högtrycksslang är tyngre att lägga ut uppåt i trapphus än en tom smalslang för lågtryckssystem. Om försöken genomförts i ett högre trapphus skulle detta ha påverkat resultaten. Att högtrycksslangen bara delvis måste dras ut hade också påverkat resultaten om avståndet mellan släckbil och angreppspunkt varit mindre.

Eftersom felkällorna är många bör inte resultaten användas för att dra några generella slutsatser om räddningstjänstens angreppstid eller dylikt. Är detta intressant är försöken enkla att genomföra och inte särskilt tidskrävande.

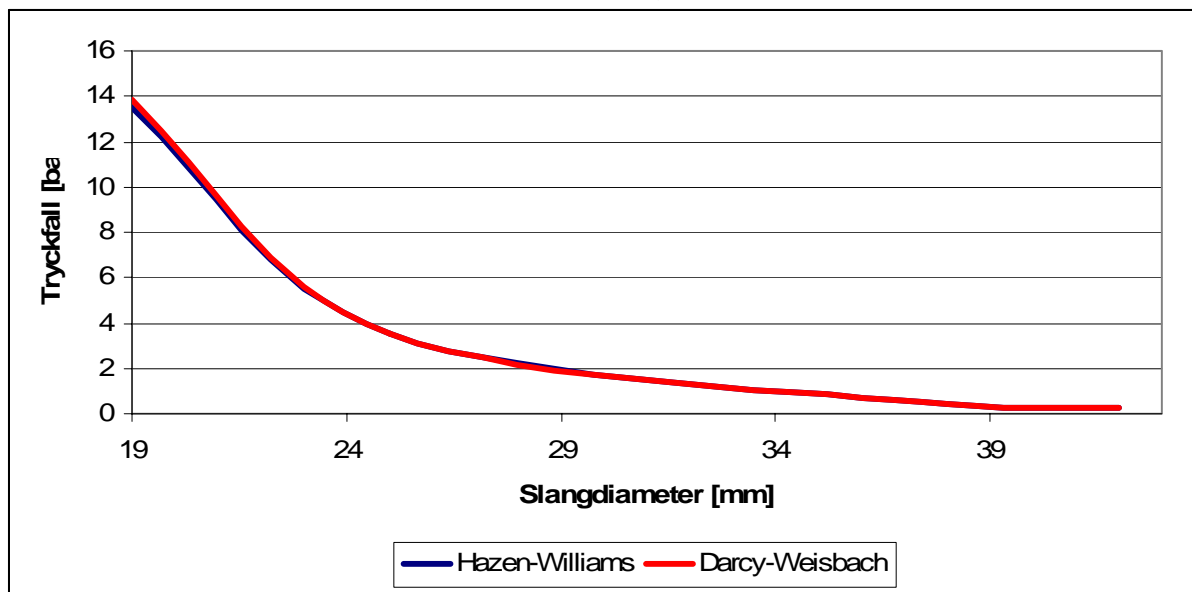
## I. Bilaga I - Känslighet i friktionskoefficienterna $f$ och $C$

Följande exempel avser illustrera att Hazen-Williams och Darcy-Weisbachs ekvationer för att beräkna tryckfallsförlusterna i slang är känsliga för vilka värden som väljs på de respektive friktionskoefficienterna. T.ex. ges konstanten  $C$  i Hazen-Williams ekvation värdet 140 och 150 i två olika källor, Särdaqvist (2002) respektive Jensen (200?).

Att friktionskoefficienten  $f$  i Darcy Weisbachs ekvation lätt kan variera beror på hur noga värdet på sandrårheten/inre diametern som kan ges.

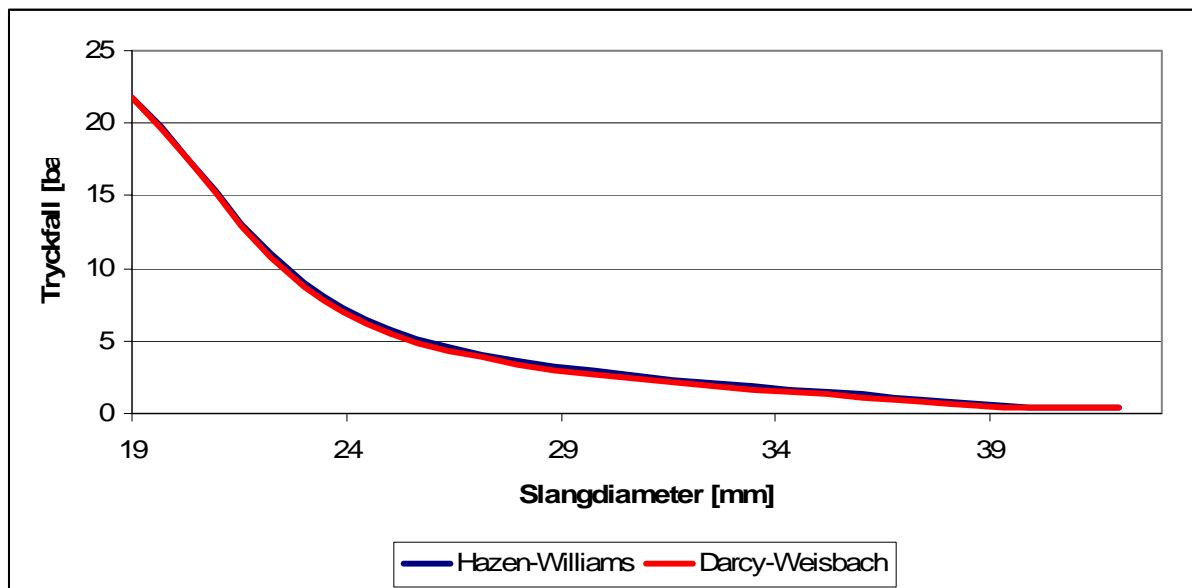
### Resultat

Om  $f = 0,019$  och  $C = 150$  fås följande resultat (Figur 104)



Figur 104. Om  $f = 0,019$  och  $C$  fortfarande 150.

Om  $f$  fortfarande är 0,03 och  $C = 116$  fås istället (Figur 105)



Figur 105. Om  $f$  fortfarande är 0,03 och  $C = 116$ .



### *Slutsats*

Det är svårt att beräkna tryckfallet endast med hjälp av tabellerade värden på friktionskoefficienterna i ovan nämnda ekvationer. Bättre är i så fall att på egen hand mäta tryckfallet över den specifika slang som avses. Se t.ex. Bilaga E – Tryckfall i slang.