

Reaktionskrafter från strålrör

Jesper Jönsson

Axel Röman

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5469, Lund 2014

Reaktionskrafter från strålrör

Jesper Jönsson och Axel Röman

Lund 2014

Titel: Reaktionskrafter från strålrör

Title: Reaction forces from nozzles

Författare/Authors: Jesper Jönsson, Axel Röman

Report 5469

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—5469--SE

Number of pages: 50 inklusive 8 sidor bilagor.

Bilder/Illustrations: Författarna har själva tagit fotona och skapat illustrationerna i denna rapport.

Keywords

Manageability, reaction force, nozzle, nozzle pressure, pump pressure, pressure loss, firefighting, high pressure system, low pressure system, flow

Sökord

Hanterbarhet, reaktionskraft, strålrör, munstyckstryck, pumptryck, tryckförlust, brandsläckning, högtryckssystem, lågtryckssystem, flöde

Språk/Language: Svenska/Swedish

Abstract:

Like all businesses there is also an interest in the fire service to always improve the efficiency of its work. This can be done in many different ways, for example by changing the existing formation of the local rescue organization or through the continued development of current methods and equipment that firefighters use. Most rescue services across Sweden are currently using low pressure pumps during normal fire situations; these are connected to a standard hose outlay and with a standard pump pressure of 10 bars, which has turned out to work well for firefighting. However, several new studies shows that increased pressure can create a better extinguishing effect. This leads to the question about how high the pressure can be, before it is no longer manageable for a firefighter to handle with consideration to the occurring reaction force.

This report investigated which reaction forces appear for different nozzles with different pressure and flow configurations. When this is done subjective assessments are used in order to establish an acceptable force for different types of nozzles. Based on all the experiments this report showed that different nozzles got different assessments regarded to what was manageable when the exact same reaction force arose. According to the tests a regular nozzle is easier to manage than a fog nozzle at equal forces.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2014.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Förord

Denna rapport är resultatet av de sista 22,5 högskolepoäng som krävs för att erhålla brandingenjörsexamen och utgörs av kursen VBRM01 Examensarbete i brandteknik.

Det finns flera personer vi skulle vilja ge ett extra tack till då dessa personer har bidragit på olika vis under resans gång men har gemensamt hjälpt oss att komma framåt och slutföra arbetet.

Stefan Svensson – Universitetslektor på avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola och vår handledare för examensarbetet. Presenterade tillsammans med Lasse den ursprungliga idén för arbetet.

Lasse Nelson – Lärare på MSB i Revinge, har assisterat oss i den praktiska biten ute i Revinge.

Ulf Bergh – Brandmästare/Insatsledare på Räddningstjänsten Landskrona, som har lånat ut betydelsefull mätutrustning till utförda tester.

Kristian Stålné – Biträdande universitetslektor i byggnadsmekanik vid institutionen för byggvetenskaper, som tagit av sin tid och givit goda råd samt värdefulla tankar om vår mättrigg.

Magnus Larsson – Professor vid Teknisk Vattenresurslära på Lunds Tekniska Högskola. För hjälp med beräkningar för strömning och reaktionskrafter.

Sist men inte minst vill vi också tacka alla våra testpersoner som gav lite av sin värdefulla tid och ställde upp på våra försök.

Sammanfattning

Som inom alla verksamheter finns det också ett visst intresse inom brandkåren att utveckla och effektivisera dess arbete. Detta kan ske på många olika sätt, allt i från utformningen av den lokala räddningstjänstorganisationen till de aktuella metoder och utrustning som används av brandmän på olycksplatsen. På de flesta räddningstjänster runt om i Sverige används idag främst pumpar av lågtryckstyp som vid normala brandtillbud kopplas till ett standardslangutlägg med ett standardtryck på 10 bar, då detta har visat sig fungera bra vid brandsläckning. Det finns dock idag flertalet studier som påvisar att ett högre tryck ger bättre släckeffekt, men hur högt tryck är det rimligt att en brandman skall kunna hantera med avseende på den reaktionskraft som uppstår?

Detta arbete har haft som utgångspunkt att först och främst kontrollera vilka reaktionskrafter som uppstår för olika strålrör vid olika tryck och flödeskonfigurationer och utifrån denna information komma fram till vad en acceptabel kraft kan tänkas vara utifrån en subjektivbedömning. Med utgångspunkt i testerna har denna rapport kommit fram till att reaktionskrafter runt 13 kg för ett enhetsstrålrör med en öppning på 14 mm och ca 9,5 kg för dimstrålrör anses som rimliga krafter vid brandsläckning. Dessa krafter är intressant nog mindre än vad som hanteras i dagens räddningstjänst.

Innan rapporten påbörjades genomfördes en genomgripande litteraturstudier. Denna ligger till grund till främst den teoridel som för läsaren redogör för alla viktiga delar som vidare kommer beröras i rapporten. Hur mätningen utfördes beskrivs närmare och då främst hur mätriggen skall se ut för att kunna frilägga strålröret och fånga upp den totala reaktionskraften i en dimension.

Totalt testades fem olika strålrör i mätriggen och reaktionskraften erhöles genom att en lastcell var ansluten till strålröret via en vajer. Resultatet från de olika testerna sammanställdes i tabeller och grafer och med hänsyn till den teoretiska beräkningen av reaktionskraften analyserades dess rimlighet. Ett uppmärksammat mätproblem var att det upphängda strålröret och slang var rörligt vid testerna och kunde därmed färdas bakåt. Detta innebar att kraften på ramupphängningen ändrades och påverkade lastcellen annorlunda när munstycket öppnades. Vid närmare undersökning kunde det bedömas att kraften minskar till ca 40 % av sin initiala påverkan vilket också togs hänsyn till vid resultatredovisningen.

Efter att reaktionskraften hade erhållits genomfördes försök med personer med relevant bakgrund för att väga in den subjektiva bedömningen över hur hanterbart de upplever de olika tryck- och flödeskonfigurationerna med hänsyn till en framtagen skala.

Både innan och efter testerna observerades flera osäkerheter som möjligen kunnat göra intryck på resultatet. Dessa har sammanställts och behandlats separat med avseende på hur stor effekt de har på resultatet. Osäkerheter som har analyserats närmare är den teoretiska beräkningens applicerbarhet, individers bedömning, uppställningens lämplighet med avseende på vind, vinklad mätkraft och slangens mothållande kraft.

I den slutgiltiga analysen kunde flera intressanta reflektioner göras, det anses att ett enhetsstrålrör är lättare att hantera än ett dimstrålrör vid motsvarande krafter. Det kunde också observeras att strålrörens utformning kan ha stor inverkan på hur lätthanterligt det anses vara beroende på vilken arbetsställning som används. Dagens högtryckssystem behöver inte nödvändigtvis generera ett högre tryck vid strålröret så om ett högt tryck vid strålröret är eftertraktat måste slangens egenskaper betraktas.

Summary

As with most professions there's a desire to develop new and more effective ways to complete the tasks presented to you, this holds true for rescue services as well. There's a lot of different ways to manage this, it could be the way your organization manages tasks as much as it could be the equipment and strategy used by firefighters. In Sweden the pumps that's mostly seen is of a low pressure type, meaning that normally they provide the nozzles with a standard pressure of 10 bar, since this has proven efficient. However, more and more reports are coming out and those points toward a better extinguishing effect when a higher pressure is used, but where are the acceptable limits of what pressure a firefighter can be expected to withstand?

This report has primarily aimed to investigate what reactionary forces that arise when different types of nozzles are used in combination with different sets of pressure/flow configurations. Based on these results an acceptable limit for the maximum reaction force is researched by subjective assessments. The results of this show that for standard nozzles with an opening diameter of 14 mm a reaction force of 13 kg is accepted, while for a fog nozzle the accepted force is only 9,5 kg.

Before the report was started a study of previous research was done which gave a greater understanding in the theory involved in a study of this kind. The findings from this research are presented in the reports theoretical parts. After this the experiments were conducted and these are explained in detail further into the report.

In total, five different nozzles were tested in the experiments and the reactionary force was measured through the use of a load cell connected to the nozzles by a wire. The results from all trials were compiled into several graphs and evaluated against the theoretical values expected. One problem that was discovered during the tests was the difficulties associated with keeping the nozzles from moving during the measuring. This meant that the force measured before the nozzles were opened changed due to the nozzles backwards movement, thus meaning that uncertainties in the measured values were present. Calculations were made that showed approximately to which degree these forces changed, and concluded that of the starting force only a maximum of 40 % could be expected to still be active.

After the data was gathered test subjects were used to determine which ones of these forces could be managed. The test subject was picked by selecting people with previous experience of firefighting methods, thus ensuring the relevance of these assessments.

Several uncertainties were discussed that could have affected the results which have been compiled and discussed, and their effect on the established values has therefore been taken into account. Such uncertainties include the theoretical equations applicability; individual differences in assessments; the experimental setups suitability with regards to wind; angled reaction force as well as the restraining force of the fire hose.

In the final analysis several interesting reflections were made: A standard nozzle is deemed easier to use than a fog nozzle at the same reactionary forces. Different shapes of nozzles can be beneficial for different working positions. High pressure systems used today does not automatically yield a higher nozzle pressure, and therefore the hose needs to be taken into account when this is desired.

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Mål.....	2
1.4	Frågeställningar.....	2
1.5	Avgränsningar.....	2
1.6	Metod.....	2
2	Teori.....	5
2.1	Vattnets inverkan på branden.....	5
2.2	Droppens påverkan.....	5
2.3	Hanterbarhet.....	6
2.4	Laminär och turbulent strömning.....	6
2.4.1	Reynoldstal.....	6
2.5	Brandslang.....	7
2.5.1	Icke formstyv vävslang.....	7
2.5.2	Formstyv slang.....	8
2.6	Brandpump.....	8
2.7	Tryckförluster.....	9
2.7.1	Slang.....	9
2.7.2	Lokala förluster.....	10
2.7.3	Nivåskillnader.....	11
2.8	Bernoullis ekvation.....	11
2.9	Strålrör.....	12
2.10	Tryckstötat.....	13
2.11	Teoretiska reaktionskrafter.....	13
2.11.1	Enhetsstrålrör.....	13
2.11.2	Dimstrålrör.....	14
2.11.3	Ekvationernas lämplighet.....	14
3	Uppställning.....	15
3.1	Mättrigg.....	15
3.1.1	Mätning av reaktionskraft.....	15
3.2	Subjektiva bedömningar.....	17
3.2.1	Felkällor testpersoner.....	19
3.3	Använt materiel.....	20

3.3.1	200 liters tunna.....	20
3.3.2	Tryckmätare	20
3.3.3	Lastcell och datalogger	21
3.3.4	Strålrör	21
3.3.5	Slangar	22
3.3.6	Testpersoner	23
3.4	Uppställningens lämplighet.....	24
3.4.1	Vind.....	24
3.4.2	Lastcellens noggrannhet.....	24
3.4.3	Vinklad mätkraft	24
3.4.4	Slangens mothållande kraft.....	26
4	Uppmärksammade mätproblem	27
4.1	Rörligt system	27
5	Resultat	29
5.1	Mätvärden	29
5.1.1	Lågtryckssystem	29
5.1.2	Högtryckssystem.....	30
5.1.3	Jämförelse mellan munstycken	30
5.2	Subjektiva bedömningar	31
5.3	Tryck och flödeskombinationer	31
6	Diskussion.....	33
7	Slutsats	37
8	Förslag till fortsatta arbeten	39
9	Litteraturförteckning	41
10	Bilagor.....	I
A	Bilaga – Grafer över testresultat	I
B	Bilaga – Svarsresultat från subjektiva bedömningar.....	V

1 Introduktion

Brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) avslutas med ett examensarbete i brandteknik där en problemställning inom området skall lösas genom att ingenjörsmässigt inhämta nya kunskaper eller tillämpa tidigare förkunskaper från utbildningen. Detta arbete utgörs av kursen VBRM01 och denna rapport är kontentan av denna.

Målet med denna rapport var att undersöka hanterbarheten av flera vanligt förekommande strålrör inom räddningstjänsten genom att undersöka den reaktionskraft som uppstår vid användning av olika tryck och flödeskonfigurationer. Testerna utfördes med hjälp av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) som har stått för både släckutrustning och assistans vid tester. Med bakgrund i testernas resultat togs sedan ett acceptabelt värde fram för hur stor reaktionskraften kan vara för att fortfarande kunna anses hanterbar. Arbetet har sedan fullbordats självständigt med kontinuerlig handledning från LTH.

1.1 Bakgrund

Inom svensk räddningstjänst användes det fram till 1960-talet bland annat ett system där en högtryckspump försåg slangsystemet med vatten. Detta upplägg stötte dock på problem med den kvalitet på materiel som fanns tillgängligt och som följd av detta kunde pumpar, slangar och munstycken falla (Lundström & Svensson, 1997). Eftersom system med lägre tryck visade sig fungera mer tillfredsställande vid brandbekämpning slutade därmed högtryckssystemet användas. I dagsläget används ofta ett manuellt slangsystem där en pump med ett tryck upp till 20 bar förser strålrör med vatten via ett utlagt slangsystem (Larsson & Westerlund, 2006).

Ett högre tryck kan dock vara att föredra då studier har visat att systemet har en bättre släckkapacitet än lågtryck (Lundström & Svensson, 1997), vilket gör att en större andel av vattnet används och därmed kan en mindre vattenåtgång krävas. Uppmätta experiment har visat att vattenåtgången kan minskas med upp till 90 % om högtryckssystem används i jämförelse med ett dimstrålrör (Lundström & Svensson, 1997). I dagsläget används idag ofta ett lågtryckssystem där ett pumptryck på 10 bar anses lämpligt (Särdqvist, 2006) vid släckinsats men rapporter har visat att detta system ger för mycket vatten (Svensson, 2002) vilket kan leda till sekundära skador samt vattenbrist vid långvariga insatser.

Nu är högtryckssystem tillbaka i Sveriges räddningstjänst då modernare teknik finns att tillgå och de flesta släckbilar är i dagsläget försedda både med en vanlig pump samt en för högtryck. Högtryckssystem kännetecknas av en pump med utgående tryck på minst 20 bar (Larsson & Westerlund, 2006). Men möjligheten till att använda högre tryck medför att andra krav kan komma att ställas på operativ insatspersonal då ökat tryck medför att en större reaktionskraft måste hanteras om inte flödet sänks. Om ett högre tryck används kan dock kravet på vattenflödet som tidigare nämnts minskas. Detta då vattnet får en generellt mindre droppstorlek och möjligheten finns att åstadkomma en finare spridningsbild varpå vattnet nyttjas effektivare. Allt för små droppar kan dock istället leda till en mycket kort kastlängd vilket kan innebära problematik vid släckinsats (Lundström, 2000). Men ett högt munstyckstryck behöver inte betyda kort kastlängd utan det kan också ge upphov till en lång kastlängd om strålröret har möjlighet att ställas om till slutna stråle, men detta kan i sin tur leda till för stor reaktionskraft. Tryckets storlek i kombination med strålbilden är därmed avgörande.

En undersökning över vilka krafter som uppstår för olika strålrör vid olika tryck och flöden är därför motiverad för att kunna fastställa vad en acceptabel reaktionskraft är.

1.2 Syfte

Rapportens arbete syftade till att undersöka den reaktionskraft som uppstår för olika strålrör vid olika tryck och deras resulterande flöden, och med bakgrund i detta sätta upp ett acceptabelt värde relaterat till systemets hanterbarhet. Dessa riktlinjer ska sedan kunna användas som underlag vid framtida utveckling av släcksystem.

1.3 Mål

Arbetes mål var att undersöka den reaktionskraft som i dagsläget kan anses accepterbar vid hanterande av strålrör och se vilka olika reaktionskrafter som skapas beroende på det använda strålröret och dess munstyckstryck. Med bakgrund i den informationen kan sedan hanterbara gränsvärden tas fram för olika strålrör samt den resulterande reaktionskraft som skapas. Även skillnaden i hanterbarhet mellan olika strålrörstyper skall undersökas. Målet innefattar även att de försök som utförs skall vara reproducerbara och att rapporten skall vara transparent.

1.4 Frågeställningar

Med bakgrund i rapportens syfte och mål togs följande frågeställningar fram:

- Vilken reaktionskraft anses hanterbar vid släckinsats?
- Vilka tryck och flödeskonfigurationer är möjliga för de hanterbara krafterna?
- Hur stor skillnad gör typen av strålrör för hanterbarheten?

1.5 Avgränsningar

För att arbetet skulle hinna färdigställas under uppsatt tid görs vissa avgränsningar:

- Mätning av uppmätta reaktionskraften sker endast i en dimension
- Ett fåtal personer med relevant utbildningsbakgrund får representera de åsikter aktiva brandmän kan ha angående hanterbarhet
- Endast pumpsystem som idag används inom räddningstjänst kommer undersökas

1.6 Metod

Rapportens arbetsgång delades upp i tre huvudkategorier:

- Informationssök
- Empiriska försök
- Resultattolkning

Informationssökandet har delvis skett med hjälp av *Lovisa*, en gemensam katalog för Lunds universitets litteratur. Även samtal med kunnig personal inom räddningstjänsten har gjorts och tillsammans med Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (hädanefter MSB) bibliotek vid Revinge har expertis från MSB samlats in. Utöver detta har även information hämtats via internet. Den information som samlats in ligger sedan till grund för de frågeställningar som skapats och den försöksmetod som valts.

De empiriska försöken sker i två steg. Ett där en experimentell försöksrigg byggs där uppkomna reaktionskrafter mäts för olika strålrör vid varierat tryck och dess tillhörande flöde på ett tydligt och reproducerbart sätt. De olika strålrören och dess resulterande krafter jämförs sedan mot beräknade teoretiska resultat. Den andra försöksuppställningen innefattar en mer subjektiv bedömning från operatörer med tillfredsställande kunskapsbakgrund såsom RUB- och SMO- studenter samt

deltidsbrandmän. Dessa får hantera strålrör med tidigare uppmätta tryck och flöden och sedan bedöma om de anser kombinationen hanterbar eller ej.

Själva sammanställningen av resultat och tolkningen av dess innebörd utförs sedan och därifrån kan acceptabla nivåer för reaktionskraftens hanterbarhet tas fram. Detta sammanställs sedan där olika accepterade reaktionskrafter illustreras. När sammanställningen utförts diskuteras även huruvida rapporten har uppnått de uppsatta målen samt om resultatet anses fullgott.

En begränsning som stöttes på under arbetets gång är tillgången på lämpliga högtryckspumpar och tillhörande slangar. De släckbilar som fanns att tillgå hade två pumpar varav en gick upp till 15 bar och den andra upp till 40 bar. Till dessa används olika slangsystem vilket medför att identiska uppställningar inte kunnat skapas.

2 Teori

Nedan följer en grundläggande genomgång av den teori som ligger till grund för mycket av rapportens arbete.

2.1 Vattnets inverkan på branden

Vatten som används vid brandbekämpning påverkar branden på flera sätt samtidigt beroende på operatörens hanterande. Vattnet kan kyla de brandgaser som producerats, kyla flammorna, kyla bränsleytor, bevara låg temperatur på ännu ej inblandade ytor samt att det sänker syrehalten i rummet då vattnet förångas och expanderar. (Särdqvist, 2006).

Det bästa sättet att motverka en brand är att med vatten kyla själva brandhärden och därigenom stoppa förbränningen. Detta kan vara svårt då det ofta kräver att rökdykaren tar sig nära branden och har en direkt tillgång till härden för att kunna applicera vattnet. En stor del av vattenåtgången vid en insats går därför åt att kyla brandgaser då rökdykaren arbetar sig in i lokalen, detta medför att brandförloppets spridningshastighet minskas då strålningen från rökgaslagret minskas. Det är främst det vatten som hinner förångas i rökgaslagret som kan anses bidra till nedkylningen i någon större mån då det vatten som faller ner på golvet inte påverkar gaslagrets temperatur i större utsträckning. Istället kommer vattnet som ansamlas på golv och övriga ytor, som ännu inte påverkats av branden, att kunna orsaka sekundära skador om det inte snabbt tas omhand. Detta gäller oavsett vilket påverknings sätt vattnet används till, om det inte förångas så riskerar det att orsaka skada på objekt som ännu inte tagit skada av branden.

2.2 Droppens påverkan

När vattnet kommer i kontakt med varma gaser eller varma ytor sker en värmetransport och vattnet kommer att förångas. Men hur mycket energi vattnet kan uppta beror på flera aspekter. En av aspekterna är hur snabbt energin kan överföras och detta kan påverkas genom att överföringsytan mellan det varma mediet och vattendroppen ändras. En liten droppe kommer ha större yta i förhållande till sin volym än vad en stor droppe kommer kunna ha. Så om samma volym vatten används men droppstorlekarna skiljer sig så tar de små dropparna snabbare upp energin från omgivningen.

En annan aspekt som är viktig att ta hänsyn till för droppens möjlighet att förångas är den tid vattnet är exponerat för det varma mediet. Desto mindre droppstorlek desto mindre blir fallhastigheten genom brandgaserna (Särdqvist, 2006) och alltså kan droppen befinna sig längre i det varma mediet vid brandgaskylning. Mindre droppar kan även följa med i de strömmande varma gaserna (Lundström, 2000).

Att minimera dropparnas storlek ger alltså två samarbetande effekter som båda bidrar till en snabbare och mer effektiv temperatursänkning vid insats. För att minska dropparnas storlek kan ett högre munstyckstryck användas men det kan bli svårt att generera extremt små droppar då de börjar slå ihop sig och istället formar större droppar innan de når de varma gaserna (Lundström, 2000).

Om lika stort tryck används kommer större droppar att kunna tränga längre in i flammorna än små. Detta på grund av deras ökade rörelsemängd gentemot de små dropparna (Lundström, 2000). Detta medför att små droppar främst är lämpade för att kyla brandgaser eller att användas nära brandhärden då de inte når lika långt. Större droppar har också ökad möjlighet att nå fram till brandhärden då de till skillnad från mindre kan färdas längre innan de förångas.

2.3 Hanterbarhet

Vid användande av ett strålrör skapas en reaktionskraft som operatören måste kunna behärska. Denna reaktionskraft påverkas av flödet som släpps ut, trycket vid strålröret samt vilken typ av strålrör som används. Beroende på om strålröret låter vattnet färdas rakt fram eller sprider strålen så kommer rökdykaren att utsättas för olika mycket motstånd där den största reaktionskraften genereras då strålen är slut. Ett högre tryck kan skapa mindre vattendroppar (Lundström, 2000) och ett högre flöde låter mer vatten ta åt sig energi från branden. Men om både flödet och trycket ökas kommer även den totala reaktionskraften att öka och hanterandet av strålröret kan bli problematiskt. Därför är det viktigt att flödet och trycket balanseras mot varandra så att hanterbarheten bibehålls samtidigt som en maximal släckeffekt kan uppnås baserat på insatsens förutsättningar.

Olika tjocklek på den slang som används för att transportera vattnet fram till strålröret påverkar också hanterbarheten, dock inte med avseende på reaktionskraften. En grövre slang innebär att mer vatten befinner sig i slangen när den ska förflyttas av insatspersonalen och alltså även en större vikt än vid användande av en smal slang. Desto smalare slangen är desto mer hanterbar är den alltså för insatspersonalen. En grövre slang kan däremot vara till fördel för operatören då den erbjuder en större mothållande kraft. Detta samband redovisas i Tabell 1, (Särdqvist, 2006)

Diameter [mm]	25	38	42	63	76	110	150
Volym [l/m]	0,5	1,1	1,4	3,1	4,5	9,5	17,7

Tabell 1. Redovisning av olika slangdiameters resulterande volymer. Volymen ökar snabbt i förhållande till diametern.

2.4 Laminär och turbulent strömning

En strömmande vätska i ett slangsystem kan vara laminär eller turbulent (Eriksson & Norberg, 2006). Skillnaden mellan dessa stadier är att hastighetsprofilen är olika. För ett laminärt flöde varierar hastigheten mycket mellan olika närliggande punkter i slangens tvärsnitt. Hastigheten är som högst i slangens mitt och minskar gradvis närmare slangväggen, se Figur 1. Då hastigheten som kommer i kontakt med slangväggen är lägre än den i mittpunkten skapas endast små strömningsförluster på grund av den lägre hastighetsskillnaden gentemot slangväggen.



Figur 1. T.v illustreras ett laminärt flöde och T.h kan ett turbulent flöde observeras.

Turbulent flöde är raka motsatsen då hastigheten hos vattnet är i stort sett samma i alla punkter i tvärsnittet. Detta medför en stor hastighetsskillnad vid slangväggen och därmed också en betydligt större strömningsförlust. Turbulent flöde utmärks av virvelbildning och växlande strömningsbanor.

2.4.1 Reynoldstal

Reynolds tal är dimensionslöst och beräknas enligt Ekvation 1 nedanför. Talet har stor betydelse i strömningslära då storleken av denna avgör den aktuella strömningens karaktär; som kan vara laminär eller turbulent, som tidigare diskuterats. Enligt ekvationen kan det avläsas att rörströmningen direkt

beror utav både vätskans medelhastighet, den rördiameter som utnyttjas och viskositet, som beskriver det motstånd mot deformation som en vätska frambringar vid rörelse. (Eriksson & Norberg, 2006).

Ett Reynolds tal upp till cirka 2100 bedöms som laminär strömning, här dominerar de viskösa krafterna. Ju högre tal desto mer minskar viskositetens relativa inverkan och Reynolds tal över 4000 eller mer bedöms oftast som turbulent strömning. Däremellan anses strömningen vara något av ett mellanting och därmed kan det vara svårt att bedöma fluidens beteende. (Eriksson & Norberg, 2006).

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Ekvation 1. Reynolds tal

V = Medelhastighet [m/s]

d = Rördiameter [m]

ν = Kinematisk viskositet [m²/s]

2.5 Brandslang

Slangar kan delas upp efter uppgifter och vilket tryck över omgivningen de skall klara (Särdqvist, 2006).

2.5.1 Icke formstyv vävslang

Den vanligaste slangtypen är den icke formstyva vävslangen (numera kallat vävslang) vars utsida består av vävd nylon- eller polyestertrådar med en insida bestående av gummibeläggning som minskar friktionsförlusterna. Det finns många olika slangstorlekar tillgängliga och de rangordnas utifrån dess innerdiameter (mm). De vanligaste dimensionerna på slangen inom räddningstjänsten är 38 och 42 vilket också kallas smalslang. Denna utnyttjas främst som manöverslang och används därför framme vid brandplatsen för brandsläckning. Det finns också grovslangar vilka är 63 och 76. Grovslangar med dimensionen 76 eller högre används främst till att transportera vatten till och från pumpen och kallas också matarslang. (Särdqvist, 2006).

Slanglängden beror huvudsakligen på slangens användningsområde. Normalt brukar slangar vara i längder på 20-25 m med undantag för främst matarslangar som skall transportera vatten som kan vara upp mot 50 m. Slangkopplingen varierar också efter typ av slang och mellan olika länder men de vanligast förekommande typerna inom svensk räddningstjänst är klo- och normalkoppling och dessa skall vara utformade enligt den svenska standarden. (Brandbekämpning, 2014).



Figur 2. Två olika slangkopplingar som används inom svensk räddningstjänst. T.v. visas en grovslang utrustad med en normalkoppling. T.h. ses en smalslang med tillhörande klokoppling.

En vävslang i både grov- och smalutformning har båda samma begränsning i högsta arbetstryck på 15 bar, det som skiljer dem åt är att sprängtrycket är högre för smalslangen, 45 bar jämfört med grovslangens 35 bar (Särdqvist, 2006). Med sprängtrycket avses det tryck som förstör slangen och betyder att den inte längre kan hållas intakt.

2.5.2 Formstyv slang

Det finns också formstyva slangar, dessa är främst anpassade för att klara av högre tryck som högtryckspumpar ger upphov till genom att slangväggen är tjockare och formstabil på grund av armering bestående av antingen stål eller plasttråd. Uppbyggnaden av slangen behöver dock inte betyda en högre vikt än vävslangen. Dimensionerna på en formstyv slang är som regel antingen 19 eller 25 mm och förvaras oftast i släckbilen fastmonterad i en centrumrulle i längder på 40 till 80 meter. Slangkopplingen på ett högtryckssystem består oftast av en så kallad snabbkoppling, också kallad NITO-koppling som kan ses i Figur 3. En formstyv slang anpassad till ett högtryckssystem har gentemot en vävslang möjlighet att komma upp i ett högsta arbetstryck på 20 - 40 bar beroende på modell.



Figur 3. Snabbkoppling som används för högtryckssystem.

Genom den färdigt monterade slangen är högtryckssystem ett smidigt släckverktyg för att kunna angripa branden snabbt i och med att den är färdigmonterad och klar för att användas, men även en tunnare slang och mer lätthanterlig slang. (Särdqvist, 2006).

Sammanfattningsvis går det att konstatera att användning av vävslang skall ske i de situationerna där avståndet från branden och brandbilen överstiger högtrycksslangens längd, då ett slangutlägg med vävslang är mer tidskrävande. En vävslang kräver också att slangen alltid skall luftas för att kunna användas, ett problem som inte finns för en högtrycksslang då den alltid är färdigmonterad.

2.6 Brandpump

För att kunna transportera vatten via en slang fram till strålröret för brandsläckning behöver energi tillföras. Denna energi kan en pump framställa genom att trycksätta vattnet. Vid brandsläckningsinsatser i dagens räddningstjänst är de vanligaste av centrifugaltyp.

Centrifugalpumpen kan sedan delas in två olika pumptyper, hög- och lågtryckspump.

Många släckbilar är idag utrustade med båda pumptyperna för brandsläckning (Lundström, 2000). Högtryckssystemet kännetecknas av en pump med ett utgående tryck på minst 20 bar och är oftast direktkopplad till en formstyv slang på rulle och tillhörande strålrör (Larsson & Westerlund, 2006). Lågtryckssystemet utmärks istället av en pump som ger upp till 20 bar vilken sedan löper ut till ett

uttag där vävslang kan anslutas för vidare slangutlägg. Mer information om de olika slangtyperna beskrivs i teoridelen för brandslang, kapitel 2.5.

2.7 Tryckförluster

Ett transportsystem som förflyttar trycksatt vatten från en tank eller ett vattentag till en brand via pump, slang, grenrör och strålrör utsätts för flera tryckförluster under förflyttningen. Dessa förluster kan vidare påverka vattnets släckeffektivitet då visst munstyckstryck vid strålröret är eftertraktat vid brandsläckning. Det är av stor betydelse att ha kännedom om dessa förluster så att trycket i slangsystemet är tillräckligt och samtidigt inte överstiger utrustningens begränsningar. (Särdqvist, 2006).

De främsta faktorer som skapar tryckförluster är följande:

- Slangen
- Lokala förluster
- Nivåskillnader

2.7.1 Slang

Den tryckförlust som sker i slangen beror på typ av slang, längd, dimension och flödes hastighet men alla dessa grundar sig till slut ändå av friktionsförluster från slangens insida samt strömningsförluster på grund av turbulens (Särdqvist, 2006). Förlusterna går att beräkna med hjälp av Darcy-Weisbachs formel, Ekvation 2 (Eriksson & Norberg, 2006). Utifrån ekvationen är det möjligt att se hur tryckförlusten är proportionell mot de ovan nämnda faktorerna; Högre flödes hastighet, mindre diameter och längre slang skapar mer tryckförluster.

”En smal slang måste vara kort för att ge lika stora tryckförluster som en lång och tjock” (Särdqvist, 2006)

$$\Delta p_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

Ekvation 2. Darcy- Weisbachs ekvation för tryckförluster

Δp_f = Tryckförlust i slangen [Pa]

f = Friktionsfaktor (dimensionslös)

L = Slangens längd [m]

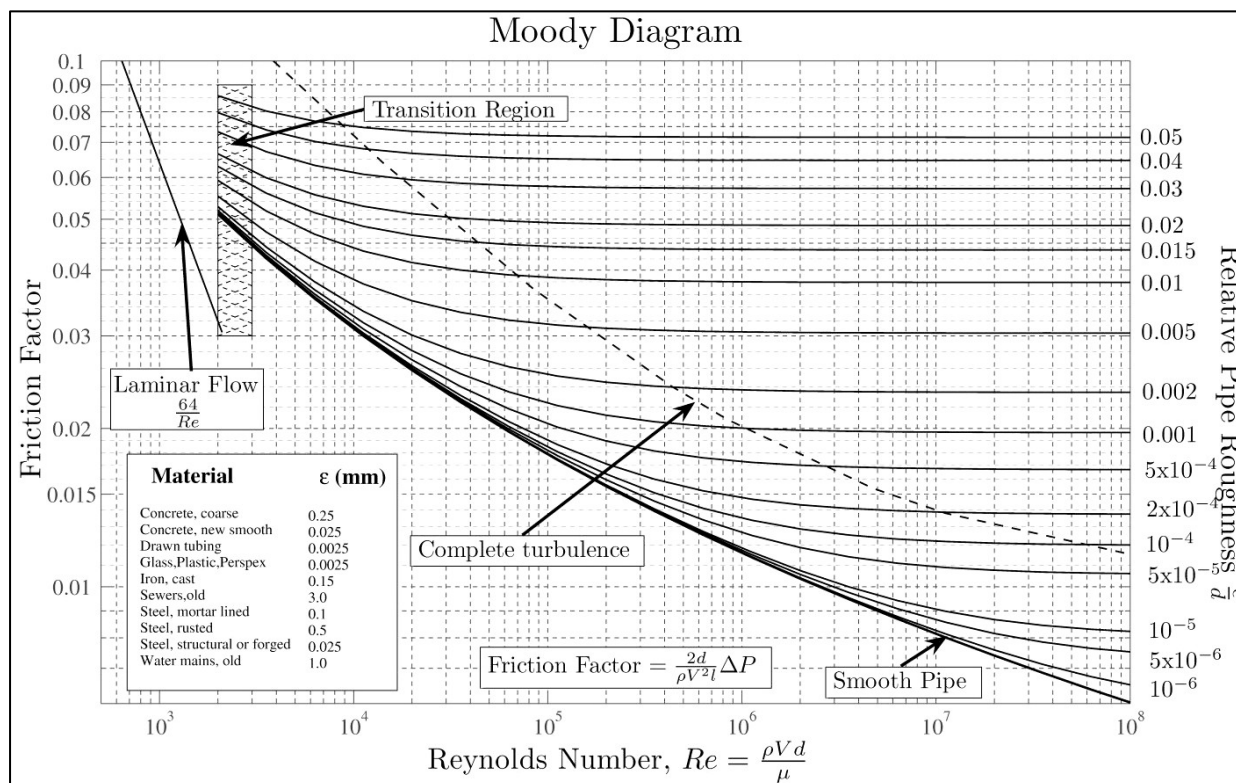
d = Slangens diameter [m]

V = Hastighet [m/s]

ρ = Fluidens densitet [kg/m³]

Friktionsfaktorn innehåller de förluster som friktion frambringar och beror av slangytans struktur på insidan, också kallat sandråhet, men även Reynoldstal (Eriksson & Norberg, 2006). Mått på sandråhet har fastställts genom att sandkorn med känd storlek klistrats fast i ett rör och sedan har strömningsförlusterna mätts. Om slangen har samma strömningsförluster som röret är därmed sandråheten känd. Ett lägre sandråhetstal betyder en jämnare yta (Särdqvist, 2006). För att kunna fastställa friktionsfaktorn och därmed motståndet i slangen används ett så kallat Moodydiagram, se

Figur 4. Genom att undersöka sambandet mellan Reynoldstal och förhållandet mellan sandråhet och diameter kan faktorn därmed erhållas (Eriksson & Norberg, 2006).



Figur 4. Moody diagram där friktionsfaktorn kan utläsas med hjälp av sandråhet, Reynolds tal och rörets diameter (Hämtad från Wikimedia Commons, upplagd av Donebythesecondlaw).

Normalt sett är strömningen i brandslangarna inom räddningstjänsten alltid turbulent vilket också betyder stora tryckfall. (Särdqvist, 2006).

Det är också värt att nämna att tryckförluster i slang också beror på hur slangen är dragen vid släckinsatsen. Uppkomna veck kan skapa lika mycket tryckförlust som slangen i sin helhet. Veck på slang leder också till lägre flöde och även ett högre slitage på slangen. (Särdqvist, 2006).

2.7.2 Lokala förluster

Med lokala förluster avses grenrör, krökar och ventiler m.m. i ett slangsystem och beror till största delen av vattnets hastighet genom rörkomponenten som skapar virvelbildning. Precis som tryckförlust i slang så ökar också den lokala förlusten med ökad hastighet på vattnet och minskad diameter på komponenten. Mycket av förlusten beror också på om utformningen av rörkomponenten är olycklig och därmed ger upphov till större virvelbildning. Ett exempel på grenrör visas i Figur 5. (Eriksson & Norberg, 2006).



Figur 5. Grenrör som kan orsaka tryckförluster genom att vatten kolliderar med väggar och andra vattenstrålar, varpå turbulens skapas.

2.7.3 Nivåskillnader

Tryckförluster på grund av nivåskillnader uppträder om pumpen befinner sig lägre än brandplatsen vilket betyder att vattnet måste transporteras i höjdlid (Sjöberg & Nilsson, 1986). För varje meter nivåskillnad som vattnet skall transporteras minskar trycket med 0,1 bar, vilket innebär att 1 bars tryckfall sker efter ca 3-4 våningars höjning. För att behålla samma flöde och tryck vid strålröret behöver därför pumpföraren höja trycket för att kompensera höjdskillnaden. Detta betyder också att om pumpen befinner sig högre upp än brandplatsen ökar trycket med motsvarande värde för varje höjdmeter.

2.8 Bernoullis ekvation

Inom strömningslära är en grundläggande ekvation den som kallas för Bernoullis ekvation. Denna visar hur det går att använda en punkts kända värden i systemet för att beräkna vilka värden som detta resulterar i för en annan punkt. Detta har sitt ursprung i mass- och energibalanser och används för friktionsfria strömningar. Bernoullis ekvation redovisas nedan i Ekvation 3. (Eriksson & Norberg, 2006).

$$p_1 + \delta \frac{V_1^2}{2} + \delta g z_1 = p_2 + \delta \frac{V_2^2}{2} + \delta g z_2$$

Ekvation 3. Bernoullis ekvation som jämför två delar av ett system med statisk strömning av en fluid.

p = Statiskt tryck [Pa]

δ = Fluidens densitet [kg/m^3]

z = Höjd [m]

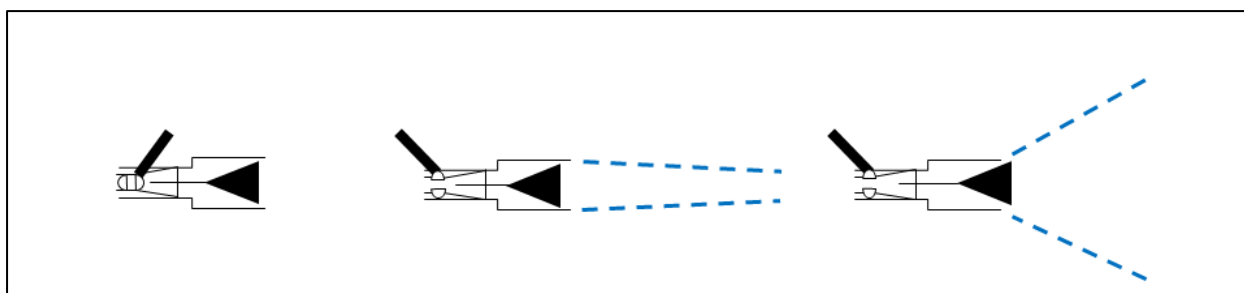
g = Tyngdacceleration [m/s^2]

Ekvationen kommer i rapporten användas för att ta fram de accepterade kombinationer av tryck och flöde som finns för en specifik reaktionskraft.

2.9 Strålrör

Strålröret är den sista komponenten i ett slangsystem och har som uppgift att distribuera vattnet på rätt plats med rätt flöde och strålbild. Förutom detta skall också ett strålrör vara försett med en avstängningsmekanism, exempelvis en kulventil, för att ge strålföraren möjlighet att också stänga av flödet helt. (Särdqvist, 2006).

Det finns många olika strålrör på marknaden som är anpassade för olika användningsområden och har därmed varierande behov på både tryck och flöde. Utformningen av strålröret beror på varumärke och modell varpå strålbilden mellan dessa kan variera stort vilket också inverkar på släckverkan och kastlängd. En sluten stråle har lång kastlängd men en liten träffyta, medan en spridd istället har en större träffyta på bekostnad av kastlängden. Släckverkan beror sedan vidare på vattendroppens storlek vilket har förklarats tidigare i kapitel 2.2. Det finns flera metoder att skapa en spridd stråle; alltifrån att två strålar kolliderar med varandra, propeller som sätter vattnet i rotation samt att vatten splittras genom en kollision mot en spridarplatta. Den sistnämnda metoden är den som förekommer oftast idag och strålrör som använder tekniken kallas gemensamt för tallriksstrålrör. Tallriken går att reglera vilket medför att strålen kan gå från sluten till att vara spridd. (Särdqvist, 2006).



Figur 6. Illustrering av kulventil och tallriks spridarfunktion. T.v. ser vi ett strålrör där ventilen är stängd och inget vatten kan därmed passera. I mitten är ventilen öppen och spridarplattan är indragen vilket gör att strålen trycks mellan platta och kammarvägg och får en sluten strålbild. T.h. möter vattnet spridarplattan utanför kammarväggen vilket då riktar om vattnet och ger en bredare strålbild.

Något som oftast följer med ett tallrikstrålrör är tryckautomatik vilket betyder att flödet regleras så att munstyckstrycket alltid hålls konstant. Detta innebär att strålbilden och kastlängden för strålen bibehålls trots att trycket i systemet kan fluktuera vilket ger en effektivare brandsläckning. (Särdqvist, 2006).

Strålrör kan också vara flödesreglerade och flödesmotståndet kan justeras antingen genom den steglösa avstängningsventilen eller som ett enhetsstrålrör som har förinställt flöde beroende på vilket trappmunstycke som är monterat. Vissa strålrör har möjlighet att ändra flödesmotståndet genom att vrida på en ring på strålröret, detta kan efterliknas enhetsrörets sätt att reglera flödesmotståndet.

Vid en insats är det av stor vikt att ett korrekt munstyckstryck uppnås för att maximera insatspersonalens säkerhet och möjlighet att bekämpa branden. Vid ett flöde på 300 l/min och ett pumptryck på 10 bar kan ett munstyckstryck på 5,5 bar förväntas förutsatt att inga höjdskillnader inverkar. (Räddningsverket, Brandvattenförsörjning, 1999).



Figur 7. Enhetsstrålrör utrustat med trappmunstycken längst ut som reglerar öppningsdiametern och därmed flödet. De tre stegen har olika diametrar än strålröret och i detta fall erbjuds därmed fyra skiljda inställningar.

Vad som är gemensamt för alla dessa är att det referensflöde som anges för ett strålrör endast gäller vid ett visst referenstryck. Om trycket ändras framme vid strålröret ändras därmed även flödet och den droppstorleksfördelning som fås.

2.10 Tryckstöt

I ett slangsystem som används vid brandsläckning flödar vatten på grund av den rörelseenergi som pumpen tidigare har tillfört. Om någon strålförare skulle stänga sitt strålrör snabbt kommer detta leda till att vattenmassor som annars skulle strömma ut ur strålröret tvärstannar och studsar mot den stängda ventilen och skapar en så kallad tryckstöt i systemet. Det plötsliga stoppet av vattenmassorna kräver ett motståndsarbete av strålföraren för att hejda tryckstöten och hur stor det behöver vara beror på vattnets stoppsträcka. Ju snabbare strålröret stängs desto större volym rörligt vatten måste stoppas och därmed behövs en större motståndskraft. För att motverka tryckstötter skall strålrör eller andra ventiler stängas långsamt samt att elastiska slangar används som dämpar stöten genom att slangen kan töjas. Problematiken med tryckstötter innebär risker för strålförare som kan bringas ur balans av fortplantade tryckstötter som ger oväntade reaktionskrafter i strålröret. Ett exempel på detta är när en strålförare stänger av sitt flöde snabbt och en temporär tryckökning skapas i systemet, en annan strålförare känner då av denna som en kort men stark ”puls” som kan bringa henom ur balans. Tryckstötter bör också undvikas då det inte är skonsamt för utrustningen, för höga tryck kan leda till exempelvis slangbrott. (Särdqvist, 2006).

2.11 Teoretiska reaktionskrafter

För att veta ungefär vilka krafter som kan förväntas innan mätningarna påbörjats används två ekvationer vilka ger en uppfattning om reaktionskrafternas storlek. Ekvationerna skiljer sig åt beroende på vilken typ av strålrör de beskriver. För enhetsstrålrör används Ekvation 4, (Särdqvist, 2006), och för dimstrålrör används Ekvation 5, (Akron, s. 175). För att kraften skall bli lättare att relatera till konverteras den sedan till kg med hjälp av sambandet att 1 N motsvarar 0,102 kg. Resultaten av beräkningarna kan ses i kapitel 5.1.

2.11.1 Enhetsstrålrör

Storleken på reaktionskraften för enhetsstrålrör beror främst av strålrörets aktuella öppningsdiameter och munstyckstryck och den fullständiga ekvationen presenteras nedanför.

$$R = 0.5 \cdot c \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p$$

Ekvation 4. Reaktionskraft för enhetsstrålrör

Där R = reaktionskraften [N]

c = utströmningskonstant [-]

d = öppningens diameter [m]

p = munstyckstrycket [Pa]

För det c -värde som används sätts 0.96 då detta värde används i Särqvists bok för ett exempel med 22 mm enhetsstrålrör, sluten stråle och 6 bar munstyckstryck.

2.11.2 Dimstrålrör

För dimstrålrör används en ekvation som återfinns i Akrons produktkatalog (Akron, s. 175), reaktionskraften beror i denna ekvation istället direkt utav vattenflödet och munstyckstrycket:

$$NR = 0.0505 \cdot Q\sqrt{NP}$$

Ekvation 5. Reaktionskraft för dimstrålrör

Där NR = Reaktionskraften [lb]

Q = Vattenflöde [gpm]

NP = Munstyckstryck [psi]

2.11.3 Ekvationernas lämplighet

Ekvationernas lämplighet för den teoretiska beräkningen kan dock ifrågasättas. Två olika ekvationer har lagts fram, en anpassad för dimstrålrör och en för enhetsstrålrör. Ingen av dessa gäller dock specifikt för de strålrörsmodeller som kommer testas i rapporten, vilket kan ifrågasätta dess kvalifikation för ändamålet.

Angående ekvationen för dimstrålrör var denna framtagen endast för ett specifikt märke, Akron, och därmed finns ingen garanti för dess giltighet för andra märken. Ekvationen för enhetsstrålrör innehåller istället en utströmningskonstant C som sätts till 0,96. Då inga andra värden på utströmningskonstanten har kunnat motiveras används det för alla beräkningar, trots att ingen egentlig kännedom finns för värdets verkliga storlek för de testade strålrören.

3 Uppställning

Försökens utformning beskrivs här samt hur den insamlade datan bearbetades.

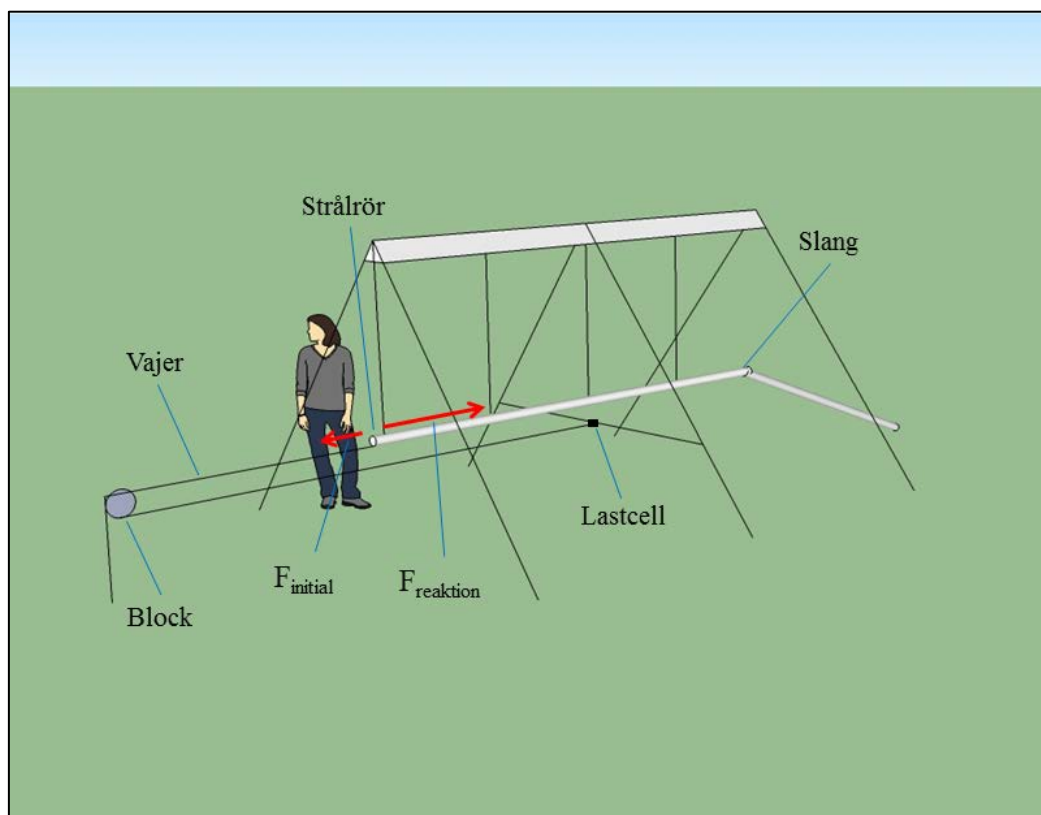
3.1 Mättrigg

Den mättrigg som skapats för att mäta de alstrade reaktionskrafterna vid användning av olika strålrör redovisas närmare i detta avsnitt.

3.1.1 Mätning av reaktionskraft

Målet med mättriggen var att lyckas fånga den totala reaktionskraften från strålröret när den är som störst. Detta gjordes genom att i så stor utsträckning som möjligt frilägga strålröret och därmed säkerställa att all kraft riktades i en riktning.

Den grundläggande principskissen för hur detta skulle gå till redovisas i Figur 8.



Figur 8. Principskiss över uppställningen av den mättrigg som använts vid försök med reaktionskrafter.

Tankegången bakom mätriggen som illustreras i Figur 8 är:

- Slangsystem och munstycke hänger i rörliga punkter vilket eliminerar den mothållande kraft som annars skapas av friktion mellan slang och mark.
- Lastcell som mäter dragkraften fästs i en vajer som sätts fast i munstycket och går genom ett block för att fästas bakom strålröret. På detta sätt skyddas den elektriska mätutrustningen från det vatten som lämnar munstycket.
- Då mätriggens fästordningar för slangen är rörliga är det lätt att konstatera när ett statiskt flöde uppstått samtidigt som det inte skapas någon sidledes inverkan från reaktionskraften.

Genom att hänga upp slutändan av slangen ovanför marken minimeras den kraft som själva slangsystemet kan hålla emot med, och därigenom mäts den maximala kraften som insatspersonal kan tvingas hantera. Denna kraft skulle exempelvis kunna skapas när den operativa personalen rundar ett hörn och inte längre har slangen och dess mothållande kraft bakom sig.

Mätriggen visas i Figur 9 t.o.m. Figur 11:



Figur 9. Ställningens stege och trapp som använts vid mätningar ses i bilden. Själva upphängningen av strålrör visas där ett enhetsstrålrör har monterats och hänger förankrad.



Figur 10. Upphängningen visas från sidan. Bilden är tagen då vattenstrålen ställs in så att den går horisontellt och därmed ger bästa möjliga utslag för reaktionskraften i en dimension.



Figur 11. I de två bilderna ser vi hur vajern går från munstycket fram till blocket där riktningen ändras och vajern löper tillbaka till ställningen och lastcellen.

3.2 Subjektiva bedömningar

För de försök där testpersoner användes för att ta fram en acceptabel reaktionskraft förankrades strålrör och slang i en fast punkt så att inga skador ska kunna inträffa om personen tappar kontrollen och släpper strålröret.

Endast två strålrör användes för testerna då dessa syftar till att ge en uppskattning om vilka krafter personal kan vara bekväma med att hantera. De två strålrören som används är ett TFT Ultimatic dimstrålrör samt ett 14 mm enhetsstrålrör för smalslang. Dessa väljs ut då de har väldigt olika utformning och därför bör kunna illustrera vikten av ett strålrörs utformning med avseende på en hanterbar reaktionskraft.

För de subjektiva bedömningarna användes en femgradig skala där försökspersonerna fick ange hur hanterbar de tyckte att strålröret var vid de olika trycken och resulterande flöde/reaktionskraft. Denna skala kan ses i Tabell 2. När bedömningen nått maxutslaget så avbryts testet då allting högre än detta är högst ohanterligt

Rang	1	2	3	4	5
Beskrivning	Absolut inga problem		Fungerar men lite tungt		Omöjligt att hantera själv

Tabell 2. Den femgradiga skala som användes vid de subjektiva bedömningarna.

Vid testerna fick försökspersonerna förklarat för sig att tanken med mätningarna var att se vilken reaktionskraft insatspersonal utsätts för då de inte är förberedda och sitter i en lämplig ställning för brandbekämpning.

De punkter de blev tillsagda att förhålla sig till är följande:

- Kommer du kunna framrycka på ett smidigt sätt?
- Kan du hantera strålröret och enkelt rikta vattnet i olika riktningar?
- Starta i en avslappnad position.
- Håll strålen horisontellt.
- Se till att spännbandet som säkrar strålröret inte är spänt.

Båda de studerade strålrören använder sig av en smalslang och systemet sätts upp med samma slang som använts för mätningarna av reaktionskraft varvid trycket, flödet och reaktionskraften är förutsägbara. Testpersoner som bedömer systemet visas i Figur 12.



Figur 12. T.v. En försöksperson hanterar enhetsstrålrör med lågt tryck och står i en avslappnad ställning. T.h. Försöksperson hanterar strålrör med högre tryck, det går enkelt att se att en mer stabil/mothållande ställning används än i vänstra bilden.

3.2.1 Felkällor testpersoner

I den subjektiva bedömningen finns flera bidragande felkällor som kan påverka en individs bedömning över hanterbarheten, dessa kan summeras till grupstryck, felhantering samt olika uppfattningar.

3.2.1.1 Grupstryck

Med grupstryck avses att en testpersons egen bedömning av hanterbarheten ändras då denna utför testet inför övriga personer. Testpersoner i fråga kan ha tenderat till att ange en lägre rang för de olika konfigurationerna med tryck och flöde för att inte visa sig mindervärdig i förhållande till de andra, detta kommer vidare leda till att resultatet blir missvisande.

3.2.1.2 Felhantering

Innan testet påbörjades angavs flera punkter som personerna skulle förhålla sig till. Några av de viktigaste var att personen skulle starta rakt stående i en avslappnad position och därmed vara så oberedd som möjligt, då detta kan simulera insatspersonal som överaskas av plötsliga eldsflammor, samt att strålen skulle hållas horisontellt. Dessa punkter övergavs stundtals vid de lite mer besvärliga tryck och flödena vilket också kan betyda att personen ger en missvisande rang på grund av att testet inte utfördes korrekt. Vid försöket säkrades också brandslangen med ett spännband för att förebygga situationer där personer inte längre skulle kunna klara av den erhållna reaktionskraften. Under försökstillfället observerades ibland att personer tog hjälp av detta spännband genom att hålla det spänt, detta korrigerades dock så fort det iakttogs.

3.2.1.3 Olika uppfattning

Alla personer är olika vilket också betyder att vi upplever saker och ting annorlunda. Den erhållna reaktionskraften som testpersonen upplever vid tillfället då de opererar med strålröret kan förefalla

olika på hur hanterbart det är. Detta beror klart främst på hur personen i fråga ser ut men själva upplevelsen kan också variera stort mellan olika individer på grund av tidigare erfarenheter

3.3 Använt materiel

Detta stycke har som uppgift att redogöra för de instrument som har använts vid mätningarna och gjort testerna möjliga genom att samla in den önskade informationen.

3.3.1 200 liters tunna

För att bestämma flödet från strålröret användes en 200-liters tunna. Denna fylldes på tid med samma förutsättningar som vid testförsöket, alltså samma tryck och slangutlägg. Denna metod användes för både låg- och högtryckssystem vilket betyder att för varje nytt utfört test krävdes också en manuell vattenfyllning av tunnan. Den tunna som använts visas i Figur 13.



Figur 13. Den 200-liters tunna som används vid bedömningar av flödes hastigheten

3.3.2 Tryckmätare

Information om vilket tryck som erhålls framme vid strålröret inhämtades med hjälp av anslutna manometrar mellan slang och strålrör. Då låg- och högtryckssystem använder sig utav olika slangkopplingar (klo- och normal- respektive snabbkoppling) krävde det två olika manometrar med rätt tillhörande koppling, se Figur 14.



Figur 14. Överst i figuren visas den tryckmätare som använts vid mätningar av lågtryckssystemet och under denna syns den mindre konstruktionen som användes vid mätningar av högtryckssystemet.

3.3.3 Lastcell och datalogger

För att kunna inhämta information om reaktionskraften införskaffades en lämplig lastcell med en kapacitet på 0-100 kg (modell PT4000), som baseras på teoretiska beräkningar över rimliga uppståndna krafter för de lite tuffare testerna. För att sedan kunna ta del av dessa resultat användes en datalogger (modell DT85 Series 2) som både strömförsörjer lastcellen och tar emot den spänningsväxling som lastcellen registrerar under testet.



Figur 15. T.v. Den lastcell som använts vid mätningar av reaktionskraften, modell PT4000. T.h. den datalogger som registrerat kraften, modell DT85.

3.3.4 Strålrör

Flera olika strålrör används vid mätningarna men endast två av dessa utnyttjas under den subjektiva delen, enhetsstrålrör för smalslang samt TFT Ultimatic. Totalt användes fem olika strålrör som var anpassade för olika system och därmed gav bra referenspunkter inför jämförelser av deras reaktionskrafter. Dessa illustreras i Figur 16 och Figur 17.

Enhetstrålrör och TFT Ultimatic är båda uppbyggda med en avstängningsmekanism i form av en kulventil. Flödet regleras genom samma princip men på olika sätt. Enhetsstrålröret har så kallade munstyckstrappor som kan skruvas av, och dimstrålröret reglerar flödesmotståndet genom att vrida en ring på strålröret som minskar eller ökar dess öppningsarea. TFT Ultimatic är av sorten tallriksstrålrör vars funktion beskrivdes närmare i kapitel 2.9. Enhetsstrålrör har istället endast två strålbildslägen, slutet eller spridd, där den spridda strålen skapas med hjälp av en fastintegrerad propeller som sätter vattnet i rotation.



Figur 16. De strålrör som används för lågtrycksmätningar. Längs t.v. ser vi enhetsstrålröret för grovslang som är utrustat med en manometer (ej använd), i mitten är enhetsstrålröret för smalslang och längst t.h. illustreras det TFT Ultimate strålrör som använts.

Protec är ett dimstrålrör anpassat för högtryck och är uppbyggd på samma sätt som TFT Ultimate med undantag för dess slangkoppling.



Figur 17. Strålrör som används för högtrycksmätningar. T.v. ser vi en skärsläckare och t.h. ett dimstrålrör av märket Protec.

3.3.5 Slangar

Då de olika strålrören är anpassade för olika system används också olika slangar i mätningarna. För lågtryckssystemet ligger slangarna lösa i utryckningsfordonen medan den för högtryckssystemet redan sitter monterad vid strålrör och pump. De olika slangarna och deras tillhörande kopplingar redovisas i Figur 18 och Figur 19.



Figur 18. Vävslang i olika dimensioner som använts för mätningar med lågtryckssystem.



Figur 19. Formstyva slangar i två utföranden som använts för högtrycksmätningar. Båda systemen är fastmonterade i bil och munstycke redan vid instasens start.

Värt att notera för högtrycksslangen som användes är att den endast är 40 m till skillnad från standardlängden 80 m. Detta kommer resultera i en mindre tryckdifferens mellan pump och strålrör än vad ett vanligt system har.

3.3.6 Testpersoner

Tio testpersoner används för att avge bedömningar angående reaktionskrafternas hanterbarhet. Dessa personer varierar i vikt mellan 59 kg och 92 kg och deras längderna ligger i intervallet 169 cm och 192 cm. För fullständig fördelning se Diagram 1. Personerna har olika kunskapsbakgrund såsom deltidsbrandmän och studerande vid RUB/SMO utbildningar.

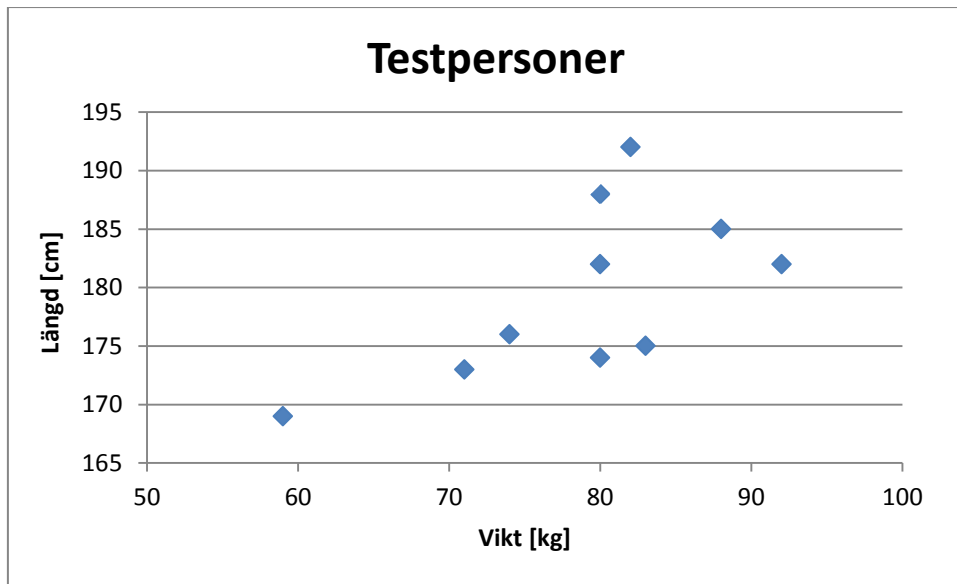


Diagram 1. Fördelning över testpersoners vikt och längd vid de subjektiva bedömningar som utförts.

3.4 Uppställningens lämplighet

Flera saker kan tänkas påverka mätresultatens giltighet och dessa undersöks i detta kapitel.

3.4.1 Vind

Vid testtillfällena blåste det periodvis mycket. Detta kan ha påverkat de uppmätta krafterna både genom vindens påverkan på det uppsatta slangsystemet men även genom att det träd som blocket sitter förankrat i rört sig i blåsten. När en kraftig vindby kommer och förändrar systemets uppmätta reaktionskrafter finns risken att kraften blir både större eller mindre beroende på vindens riktning.

3.4.2 Lastcellens noggrannhet

Lastcellens noggrannhet kan i stort sett avsägas som en felkälla då denna har verifierats mot en bagagevåg direkt samt under testtillfället för att se att kraften är den samma innan som efter blocket, med goda resultat.

3.4.3 Vinklad mätkraft

Om strålröret inte är rakt så kommer en viss kraftförlust att ske i vertikalled, detta då kraft kommer kunna tas upp utav block eller mätrigg.

Flera anledningar kan ligga bakom denna felkälla:

- Strålröret kan vara dåligt fastmonterat och därmed ligga i en ogynnsam vinkel
- Vajerns vikt kan tynga ner systemet och vinkla både vajer och strålrör
- Vajerns fästpunkter är inte parallella vilket gör att vajern inte går rakt

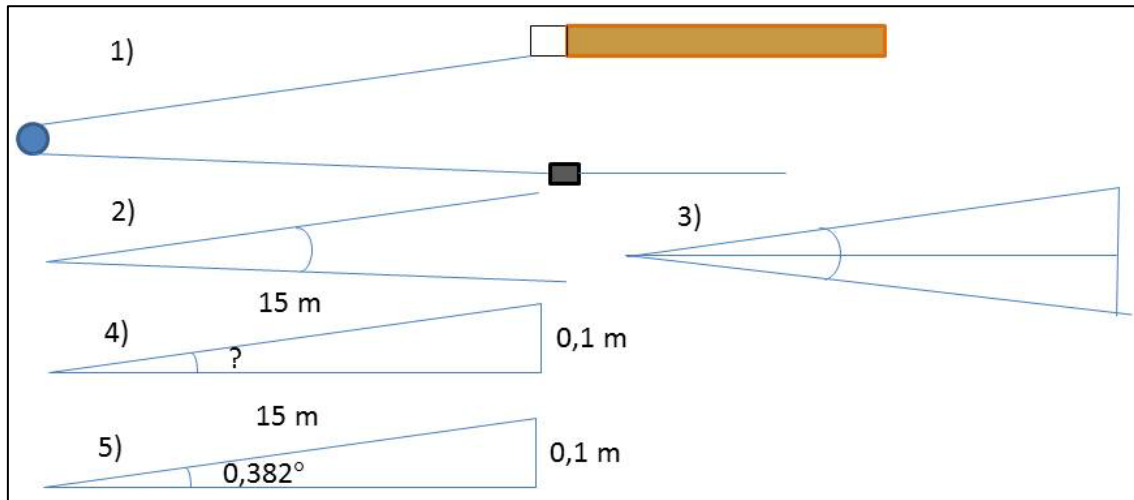
Oavsett anledning så kommer reaktionskraften då att verka i flera dimensioner. Eftersom målet är att se hur stor kraft som verkar i en dimension måste därmed den kraftförlusten utvärderas för att se hur stor dess inverkan kan ha varit.

Utvärderingen sker genom att undersöka det system som sattes upp och sedan beräkna den kraftförlust som kan ha skett i höjddled. Av de anledningar som listades ovan är det faktum att fästpunkterna inte är parallella ett faktum som noterades vid försökets uppbyggnad och denna undersöks därmed närmre. Även strålrörets vinkel på grund av andra faktorer kommer undersökas för att säkerställa hur stor påverkan dessa kan ha haft på mätningarna utifall att de har inträffat men inte uppmärksammats.

De två utfallen redovisas nedan och den eventuella förlusten beräknas med hjälp av trigonometriska funktioner.

3.4.3.1 Vinklad vajer

Totalt har ca 30 m vajer använts och fästpunkt i strålrör och lastcell är ca 20 cm skilda i höjdlid. Systemets uppställning och dimensioner redovisas i Figur 20.



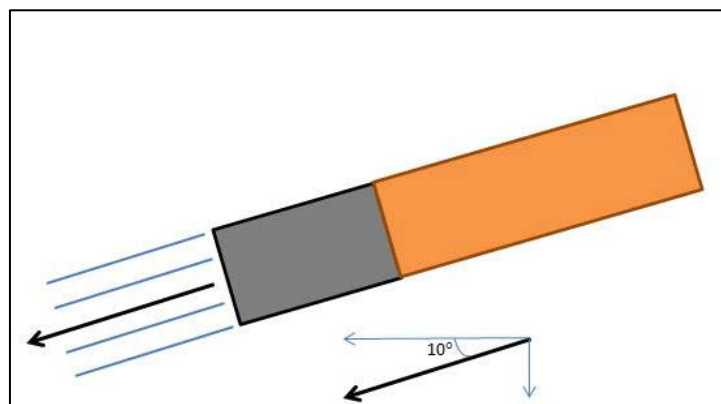
Figur 20. 1) Bilden visar hur vajer går från strålrör, genom ett block och sedan tillbaka till lastcellen. 2) Systemet förenklas och liknas med en geometrisk figur. Eftersom det är långa avstånd mellan strålrör/lastcell och block samtidigt som blocket är litet liknas detta med en punkt. 3) Vajersystemet förenklas ytterligare och antas kunna liknas med en liksidig triangel. 4) Ena delen av den liksidiga triangeln undersöks för att dess kraftförluster ska kunna beräknas. De kända variablerna efter förenklingar sätts in. 5) Vinkeln tas fram med hjälp av en trigonometrisk funktion.

I figuren fås vinkeln till $0,382^\circ$ med hjälp av trigonometri.

Den kraft som verkar i horisontellt led tas med hjälp av trigonometri fram till 99,9 % av den totala kraften som verkar längs vajern.

3.4.3.2 Vinklat strålrör

Vid mätningarna noterades ingen markant lutning av strålröret, men problemet undersöks ändå. Ett antagande görs att lutningen inte kan ha varit större än 10° utan att problemet hade uppmärksamats och åtgärdats.



Figur 21. Illustrering utav strålrörets maximala lutning och den vinkel vattnet flödar ut ur strålröret med. Vattnet kommer därmed att kräva en reaktionskraft som går i motsatt riktning för att systemet ska vara statiskt. Vattnets kraft delas sedan upp i två resulterande krafter vertikalt och horisontellt.

Med hjälp av trigonometri fås kraften i horisontalled till 98,5 % av den kraft som strålröret skapar.

3.4.4 Slangens mothållande kraft

Vid mätningarnas utförande hängdes slangen upp bakom munstycket för att på så sätt få bort inverkan av slangens friktion mot marken och därmed dess mothållande kraft, samtidigt som strålröret kunde ligga rakt och stadigt.

Det är dock lätt att tänka sig att inte all mothållande kraft har lyckats elimineras av denna uppställning då det endast är den del av slangen som är nära förbunden med munstycket som är upphängt. Detta illustreras i Figur 22.



Figur 22. Slangens upphängning illustreras i figuren. Slangen är frilagd från marken några meter bakom strålröret för att sedan gå nedåt mot asfalten.

Detta medför alltså att vi kan ha ett motstånd som förminskar den uppmätta reaktionskraften, då slangen på grund av sin styvhet och viss friktion mot marken ansätter en motverkande kraft.

4 Uppmärksammade mätproblem

Problem som noterades vid mätningarnas utförande undersöks vidare i detta kapitel

4.1 Rörligt system

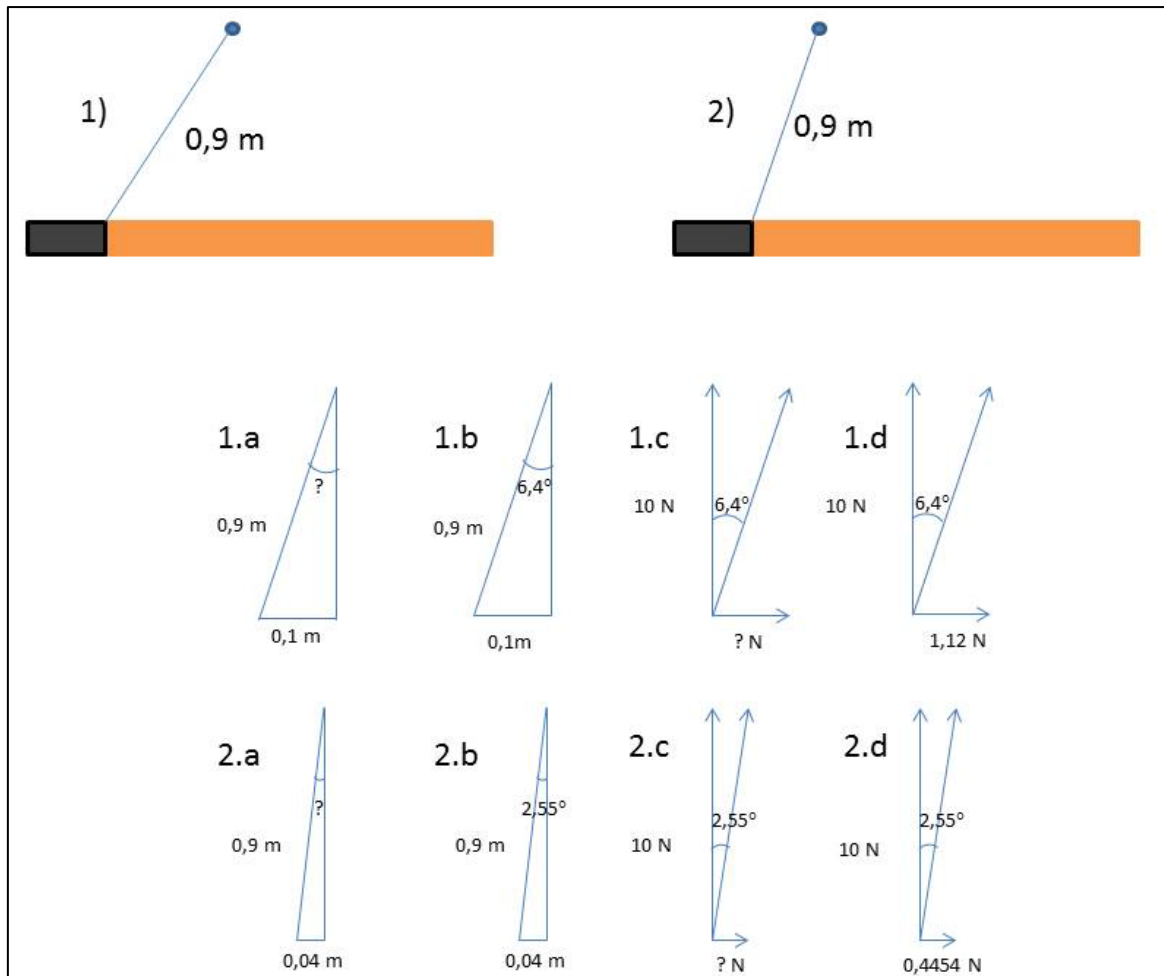
Vid mätningar observerades att det upphängda strålröret med tillhörande slangsystem inte var ordentligt låst och därmed kunde färdas bakåt. Detta fenomen visas i Figur 23.



Figur 23. T.v. Systemets upphängning innan munstycket öppnats. T.h. Systemet efter att munstycket öppnats och den resulterande kraften verkar på systemet, det går tydligt att se hur lutningen på upphängningsbandet har förändrats.

Figur 23 visar alltså munstyckets förflyttning då ett munstyckstryck på strax under 5 bar ansätts. Uppskattningsvis förflyttades systemet 6 cm av den resulterande kraften som skapas då munstycket öppnats, vilket kommer leda till att den mothållande kraften från upphängningsanordningen förändras. Detta undersöks med hjälp av trigonometri.

Kraftförändringens undersökning redovisas i Figur 24.



Figur 24. I figuren beräknas de krafter som påverkar systemet när det håller en kraft på 10 N upphängd över mark. 1.a beskriver en förenkling utav det system som beskrivs i 1. 1.b beräknar med hjälp av trigonometri ut den vinkel som spännbandet hänger i. I 1.c konverteras systemet till krafter där 10 N används som representativ kraft för att hålla systemets vikt. 1.d räknar med trigonometri fram den kraft som då skapas i sidled. Samma process upprepas sedan för fall 2 som representerar systemets upphängning efter att strålröret öppnats.

Som synes i Figur 24 kommer den kraft som verkar i sidled att minska när systemet förflyttas bakåt till en faktor 0,6. Detta innebär att den kraft som ramupphängningen påverkar systemet med, och som registreras av lastcellen, minskar till 40 % av sin initiala påverkan. Hänsyn till detta måste därmed tas i resultatredovisningen.

5 Resultat

De resultat som framstår av både mätningar och subjektiva bedömningar redovisas i detta kapitel. För fullständigt underlag se bilaga 10A-10B.

5.1 Mätvärden

Här redovisas resultat från både de teoretiska beräknade och praktiskt uppmätta reaktionskrafterna, flöden och munstyckstryck för de olika pumpsystemen och dess tillhörande strålrör. Hänsyn har tagits till den minskade initiala kraft som verkar på systemet och som diskuterats i kapitel 4. Detta har gjorts genom att endast 40 % av den initiala kraften har behållits och resterande kraftutslag har registrerats som en reaktionskraft skapad av strålröret. Underlag för alla resultatvärden kan ses i de grafer som visas i bilaga 10A.

5.1.1 Lågtryckssystem

Strålrörmodell Pumptryck [bar]	TFT Ultimatic (dimstrålrör)			
	Munstyckstryck [bar]	Flöde [l/min]	Teoretisk [kg]	Test [kg]
5	4,8	154	7,8	6,5
6	5,5	185	10,0	8,0
7	6,2	222	12,7	9,6
8	7,2	250	15,4	11,8
9	7,8	316	20,3	14,2
10	8,6	353	23,8	17,2
11	9,3	418	29,3	20,5

Tabell 3. Uppmätta och beräknade värden för strålrör TFT Ultimatic monterat på ett lågtryckssystem.

Strålrörmodell Pumptryck [bar]	Enhetsstrålrör - 14 mm - smalslang			
	Munstyckstryck [bar]	Flöde [l/min]	Teoretisk [kg]	Test [kg]
5	4,2	255	12,6	9,8
6	5	286	15,0	13,2
7	5,7	300	17,2	15,7
8	6,5	333	19,6	17,6
9	7,5	364	22,6	20,2
10	8,2	375	24,7	22,6

Tabell 4. Uppmätta och beräknade värden för enhetsstrålrör med 14 mm öppningsdiameter monterat på ett lågtryckssystem.

Strålrörmodell	Grovenhetsstrålrör 10 mm		Grovenhetsstrålrör 14 mm	
	Munstyck-/Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]	Munstyck-/Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]
Reaktionskraft [kg]	8/8	194	8/8	343
Teoretisk	12,1		23,6	
Test	8,0		17,5	

Tabell 5. Teoretiskt beräknade och uppmätta värden för enhetsstrålrör på grovlang med olika öppningsdiameter monterade på ett lågtryckssystem.

Strålrörmodell	Smalenhetsstrålrör 7 mm		Smalenhetsstrålrör 10 mm	
	Munstyck- /Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]	Munstyck- /Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]
	Reaktionskraft [kg]	10/10	100	9,5/10
Teoretisk	7,5		14,6	
Test	6,1		12,6	

Tabell 6. Teoretiska och uppmätta värden för enhetsstrålrör på smalslang med olika öppningsdiameter monterade på ett lågtryckssystem.

5.1.2 Högtryckssystem

Strålrörmodell	Protec A-202321				Skärsläckarlans	
	Munstyck- /Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]	Munstyck- /Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]	Munstyck- /Pumptryck [bar]	Flöde [l/min]
	Reaktionskraft [kg]	6/30	162	9/40	194	260/300 ¹
Teoretisk	9,1		13,4		20 ²	
Test	7,9		10,7		18,8	

Tabell 7. Teoretiska och uppmätta värden för testade högtryckssystem för strålrör och skärsläckare.

1 - (Otter, 2014). 2 - (Söderberg, 2014)

5.1.3 Jämförelse mellan munstycken

De olika reaktionskrafter som alstras från strålrören beroende på deras ingående munstyckstryck sammanställs och redovisas i Diagram 2.

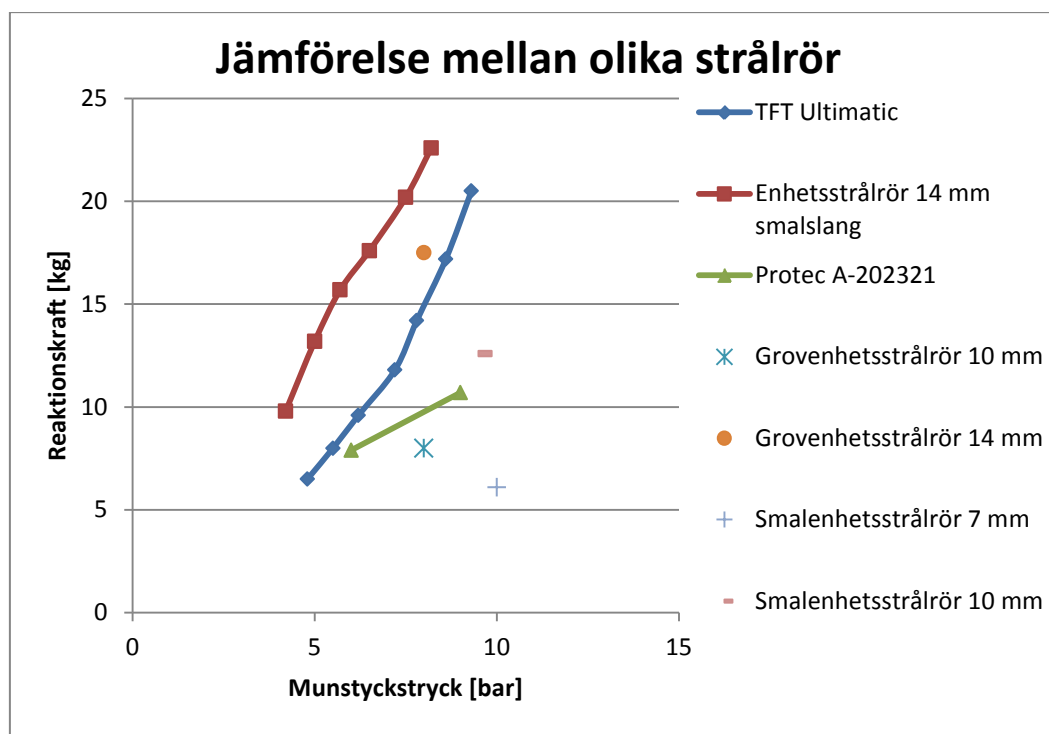


Diagram 2. Redovisning av reaktionskraft respektive munstyckstryck för alla testade strålrör i jämförande syfte.

5.2 Subjektiva bedömningar

Resultaten av de försök som involverade försökspersoner visas nedan i Tabell 8. Totalt deltog 10 personer vilket betyder att 10 % motsvarar en testperson. Tabellen visar hur testpersonerna rangordnat hur hanterbart de upplever att strålröret är för en viss reaktionskraft och munstyckstryck.

Strålrör	Munstyckstryck [bar]	Reaktionskraft [kg]	Rangfördelning [%]				
			1	2	3	4	5
Enhetsstrålrör smalslang	4,2	9,8	20	70	10		
	5	13,2		30	60	10	
	5,7	15,7			40	30	30
	6,5	17,6			10	30	60
	7,5	20,2				10	90
	8,2	22,6					100
TFT Ultimatic	4,8	6,5	80	20			
	5,5	8,0	50	30	20		
	6,2	9,6		60	30	10	
	7,2	11,8			70	20	10
	7,8	14,2				70	30
	8,6	17,2					100
	9,3	20,5					100

Tabell 8. Redovisning utav den bedömning som utförts av försökspersonerna angående acceptabla reaktionskrafter.

5.3 Tryck och flödeskombinationer

Många olika sätt finns att åstadkomma de reaktionskrafter som har testats i de subjektiva bedömningarna. Med hjälp utav Bernoullis ekvation, Ekvation 3, kan dessa kombinationer undersökas vidare. De beräknas med utgång i de specifika krafter som alstrats för de utvärderade strålrören. Resultatet av detta visas i Diagram 3 samt Diagram 4. Som utgångspunkt har manometerns placering använts och därmed fås diametern till 72 mm, varvid hastigheten för punkten räknats ut.

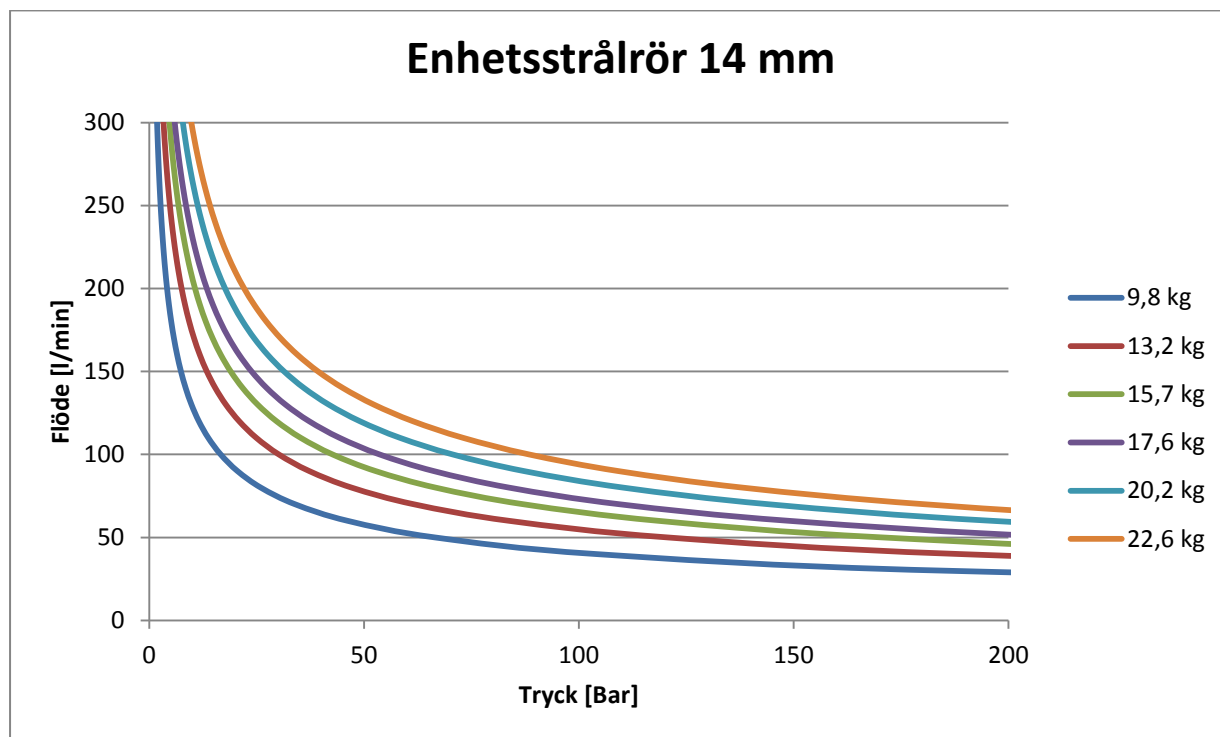


Diagram 3. Redovisning av kombinationer av tryck och flöde som kan användas för att skapa olika reaktionskrafter, baserat på de mätvärden som erhållits vid användande av ett 14 mm enhetsstrålrör.

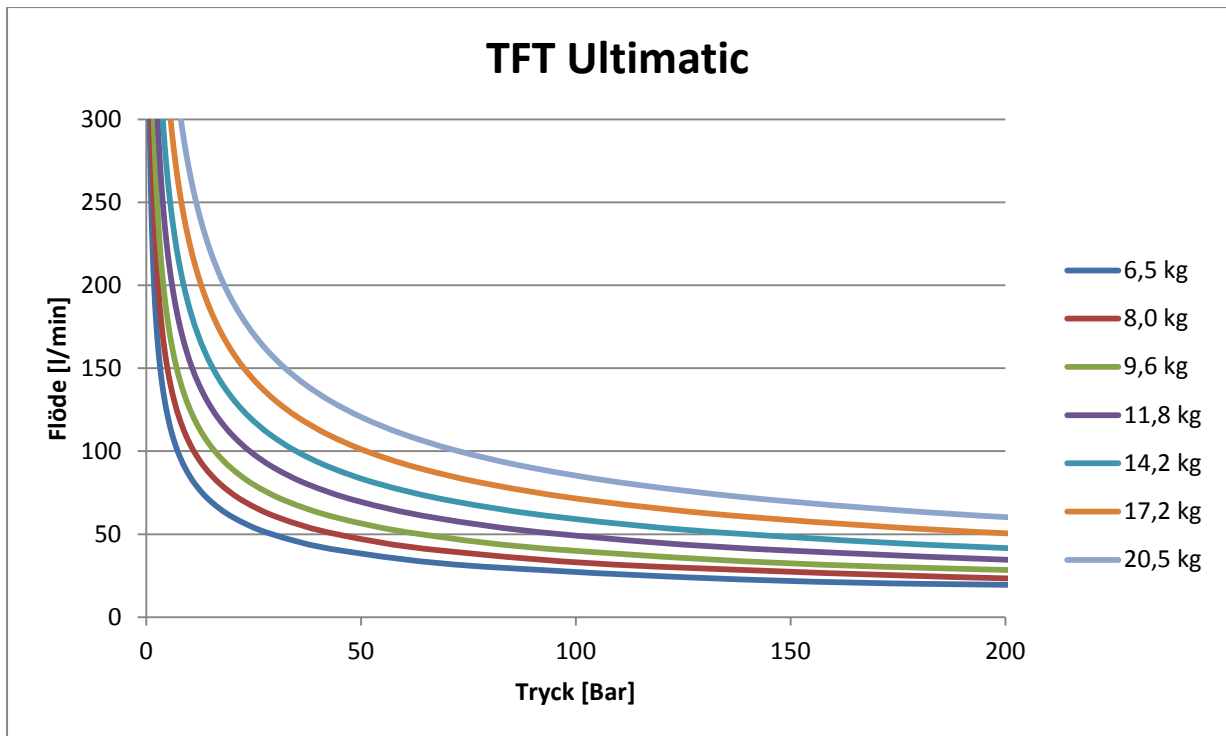


Diagram 4. Redovisning av kombinationer av tryck och flöde som kan användas för att skapa olika reaktionskrafter, baserat på de mätvärden som erhållits vid användande av ett TFT Ultimate dimstrålrör.

6 Diskussion

Den subjektiva bedömningen kan anses osäker då flera anledningar finns som påverkar hur personer förhåller sig till personliga värderingar. Detta var anledningen till att personer fick instruktioner i hur de skulle förhålla sig till krafterna, men för att ytterligare förminska denna osäkerhet kan ytterligare tester utföras där fler personer får delta. Om uppemot 100 personer hade deltagit i testerna hade felkällan lättare kunnat bortses ifrån. Vi anser dock att våra subjektiva bedömningar är tillfredsställande för ett första resultat, även om vidare undersökningar kan anses motiverat.

Från resultatdelen kan vi se att den acceptabla reaktionskraften för det testade enhetsstrålröret ligger någonstans mellan 9,8 och 13,2 kg; troligen närmre 13 än 10. Det accepterade gränsvärdet sätts till den punkt där samtliga deltagare bedömer kraften hanterbar. För dimstrålröret gäller att den acceptabla gränsen istället ligger mellan 8,0 och 9,6 kg; troligen nära 9,5 kg.

Resultatet är intressant och inte som vi förväntade oss vid testernas utförande, enhetsstrålröret har alltså en högre acceptabel reaktionskraft än vad dimstrålröret har. När vi utförde experimenten hade vi förväntat oss resultat som pekade på den direkta motsatsen, då dimstrålröret som användes var utrustat med ett handtag vilket vi antog skulle göra kraften lättare att hantera. Så varför blev det inte så?

En anledning kan vara att vi vid experimenten har frångått den normala arbetsställning som används av insatspersonal, då de sitter ner på knä samtidigt som de riktar strålen uppåt mot taket och de brandgaser som finns där. När testerna utfördes fick försökspersonerna istället stå upp och rikta strålen rakt framåt, för att simulera insatspersonal i dess svagaste angreppsställning, och det är möjligt att denna ställning inte ger möjlighet till att dra nytta av strålrörets handtag. Så även om det kan kännas smidigt med ett stadigt handgrepp kanske det inte ger en direkt ökning i hanterbarhet beroende på vilken angreppsställning som används.

I resultatdelen presenterades en graf, Diagram 2, som visade tydligt hur reaktionskraften varierar mellan olika typer av strålrör. Strålrören skiljer sig sedan vidare i deras uppbyggnad samt aktuellt munstyckstryck och flöde.

En intressant observation som kan ses tydligt är att vissa strålrör kan ha ett högt munstyckstryck utan att reaktionskraften går i höjden, men detta sker då för att flödet är lägre. Med hänsyn till detta skulle det vara möjligt att öka trycket men ändå uppfylla godtagbar hanterbarhet. Gränsen för hur högt trycket kan vara och vilket flöde som krävs för att uppfylla både hanterbarhet och god släckeffekt behöver dock undersökas närmare. Redan idag finns det studier som påvisar att en lägre vattenpåföring är befogad då ett ökat tryck ger mindre droppar och bättre släckeffekt.

Om man tittar närmare på TFT Ultimatic samt 14 mm enhetsstrålröret på smalslang kan det observeras att enhetsstrålröret ger en högre reaktionskraft vid ungefär samma munstyckstryck, ibland hela 7 kg skillnad vilket kan vara en avgörande faktor för hanterbarheten i vissa situationer. Anledningen till att reaktionskraften är högre beror på främst att enhetsstrålrör ger ett mycket högre vattenflöde samt att strålen är mer sluten.

Om vi tar våra tidigare redovisade acceptabla krafter betyder detta att enhetsstrålrör inte kan tillåtas skapa en kraft på mer än 13 kg. Detta leder i sin tur till att det 14 mm grovnhetsstrålrör som testats inte kan anses hanterbart vid de 8 bar munstyckstryck som använts. Inte heller 14 mm smalenhetsstrålrören kan anses hanterbara vid ett munstyckstryck på mer än 5 bar. För dimstrålrören är den accepterade kraften istället 9,5 kg vilket innebär att ett munstyckstryck över ca 7 bar för högtryckssystemet eller mer än ca 6,1 bar för TFT-strålröret inte kan anses hanterbart.

Dessa resultat visar därmed tydligt på vikten av att en korrekt kombination utav tryck och flöde används vid strålrören för att undvika en alltför stor reaktionskraft. I Diagram 3 och Diagram 4 kunde vi se vilka kombinationer som var möjliga för att åstadkomma olika krafter. Tittar vi på t.ex. 13 kg som var den acceptabla gränsen för enhetsstrålrör innebär detta att ett munstyckstryck på 30 bar hade varit acceptabelt vid ett flöde på 100 l/min. En annan möjlig kombination hade varit 7,5 bar och 200 l/min då även denna hade skapat en kraft runt 13 kg. Alla kombinationer som skapar en kraft lägre än 13 kan alltså anses godkända, men ytterligare undersökningar krävs för att hitta vilka kombinationer som är mest effektiva för användning inom brandbekämpning.

Om vi jämför det tryck och flöde som kan anses förekommande i dagens räddningstjänst, kapitel 2.9, så kan vi se att det enligt Tabell 1 skulle resultera i en reaktionskraft på ca 15 kg. Detta värde är alltså högre än vår acceptabla gräns. Det kan anses märkligt att något som vi inte bedömt som godkänt används ute på räddningstjänsten, men detta kan ha sin grund i att våra experiment har syftat till att undersöka personer i en dålig arbetsställning. I vanliga fall hanteras munstycken inte i dessa ställningar, utan används istället i samband med en stadig positionering varvid högre krafter kan tolereras. Detta pekar återigen på vikten av att undersöka arbetsställningens inverkan på de gränsvärden som kan anses acceptabla. Det är heller ingen garanti att ett flöde på 300 l/min används vid ett munstyckstryck på 5,5 bar; för TFT strålröret behövs till exempel ett tryck på 7,5 bar för att detta flöde skall åstadkommas. Vilket visar på vikten av ytterligare undersökningar relaterade till strålrören.

Något som vi även har lagt märke till i våra experiment är att de så kallade högtryckssystemen faktiskt inte skapar ett högre tryck ute vid strålrören, istället har de ett lägre munstyckstryck än de strålrör som används vid lågtrycksförsöken. Detta innebär att även om pumptrycket är betydligt högre än för lågtryckssystemet så sker stora tryckförluster i slangen trots att den i våra experiment endast var 40 m lång. Detta pekar på att om man faktiskt vill ha ett ökat munstyckstryck för att kunna åstadkomma en finare vattendimma måste pumparna gå ännu högre än 40 bar, eller så måste slangarna bytas ut. Slangarna kan då antingen bytas ut mot modeller med lägre sandrâhet eller mot sådana med en bredare diameter.

I resultatdelen har vi valt att ta hänsyn till ett problem som uppmärksammades under mätningarna, och som beskrivs närmre i kapitel 4.1. I kapitlet kommer vi fram till att endast 40 % av den kraft som ramen skapar finns kvar och påverkar lastcellen när munstycket har öppnats. Detta kan dock inte ses som en absolut siffra då endast ett upphängningsfall har studerats och ingen hänsyn har tagits till de andra upphängningspunkternas vinklar, se Figur 23 för exempel på deras skilda startvinklar. Inga ytterligare fall undersöks då problemet upptäcktes för sent och dokumentationen därmed är bristfällig. Förutom detta har vikten ansetts konstant vid beräkningarna vilket gör att den behandlats som om den vore jämt fördelad mellan de tre upphängningspunkterna. I det verkliga fallet kanske inte masscentrum är centrerat och jämt fördelat vilket leder till att när vinklarna förändras så förändras även viktfördelningen. Detta skulle innebära att kraftekvationerna som använts inte visar helt korrekta siffror då de har räknat slangens tyngd som statisk.

I resultatdelen används ändå värdet 40 % när reaktionskraften tagits fram och detta för att ge ett mer representativt värde på den kraft testpersonerna får stå emot. Det sanna värdet bör ligga i dessa dimensioner och kan som max anses vara den totala uppmätta kraften. För de flesta testerna skulle detta innebära en ökning från vårt resultat till ca 110 %, men för ett enskilt fall (7 mm enheststrålrör smalslang, 10 bar munstyckstryck) blir det hela 130 % av vårt redovisade värde.

I rapporten har vi räknat fram flera teoretiska reaktionskrafter med hjälp utav de ekvationer som angetts i kapitel 2.11, dessa ekvationer användes sedan för att ge oss en uppfattning om ungefär vilka krafter vi behövde förbereda oss på vid mätningarna. Ekvationerna är dock inte helt applicerbara för de strålrör som vi använt oss av, för enhetsstrålrör har utströmningskonstanten satts till 0,96; trots att ingen information har lokaliserats för huruvida denna är applicerbar för våra specifika strålrör. För strålrören från Protec och TFT har en ekvation använts som egentligen är tänkt för en annan typ av dimstrålrör, Akron. Detta ger självklart en direkt konsekvens att värdena inte kan anses sanna då ingen information har hittats om hur de olika strålrören jämför sig mot varandra. Allt som allt kan de beräknade krafterna därmed inte användas för att få fram en exakt förväntad kraft, men då de i rapporten endast har använts för att se huruvida den uppmätta kraften träffar i rätt område anses deras resultat tillfredsställande.

För skärsläckaren har istället en muntlig referens använts från det företag som tillverkar systemet och ingen beräkning har därmed gjorts, vi ser i resultaten att vårt mätvärde är 94 % av det teoretiska. Detta anser vi ligga inom en tillfredsställande närhet och det tyder på att våra mätningar utförts korrekt. De små skillnader som förekommer kan anses bero på flera samverkande felkällor, om nu den teoretiska ses som sanningen.

Dessa felkällor har nämnts tidigare i rapporten och är vinden, lastcellens säkerhet, vinklat system och den mothållande kraften från slangen.

- Vindens inverkan bortses ifrån. Den kan visserligen ha gett upphov till fluktuationer i mätdatan men ett medelvärde har använts över en tidsperiod, och därmed bör effekterna av att trädet rört sig i vinden ta ut sig själva.
- I mätanordningens fall så konstateras felkällan som förkastbar redan då den först behandlats.
- Att systemet kan ha krafter som sker agerar i höjdled och därmed inte har registrerats av vår lastcell har undersökts närmre i kapitel 3.4.3 för att vi ska få en uppfattning om osäkerheternas storlek. Med bakgrund i dessa beräkningar anses felkällan som försumbar då vajerns lutning ändå resulterar i att > 99 % av kraften som alstras registreras och en strålrörsvinkel på 10° resulterar i att 98,5 % av den verkliga kraften registreras. Att strålröret skulle luta med 10° anses dessutom högst otroligt då munstyckets lutning kontrollerats vid varje mätexperiment.
- Den mothållande kraften som slangen påverkar med är svår att beräkna då ingen information angående friktion eller liknande har mätts. Däremot anses det som en försumbar felkälla då slangen har gjorts frihängande i stor mån med syfte att eliminera just denna felkälla, varvid kraften bör vara liten.

7 Slutsats

Olika strålrör får skilda bedömningar angående dess hanterbarhet då en lika stor reaktionskraft skapas. Ett enhetsstrålrör anses lättare att hantera än ett dimstrålrör vid motsvarande krafter. För ett 14 mm enhetsstrålrör är den acceptabla reaktionskraften 13 kg medan den endast är 9,5 kg för ett TFT Ultimate dimstrålrör.

Strålrörens utformning har stor inverkan på hur lätthanterliga de kan anses vara vid lika stora reaktionskrafter. Det finns dock oklarheter i vilken arbetsställning strålrören är tänkta att användas, varvid det är svårt att säga vilka strålrör som är att föredra.

Många olika kombinationer av tryck och flöde kan leda till en acceptabel reaktionskraft och det är viktigt att anpassa kombinationen efter vilken typ av släckningsarbete som önskas.

Dagens högtryckssystem behöver inte nödvändigtvis generera ett högre tryck vid strålröret, utan kan istället användas för att slangens diameter ska kunna minskas och därmed öka systemets hanterbarhet på detta sätt. Om ett högt tryck vid strålröret är eftertraktat måste dock slangens egenskaper betraktas.

8 Förslag till fortsatta arbeten

På flera platser i rapporten har vikten av fortsatta studier påpekats och förslag på sådana presenteras här.

- Ytterligare subjektiva bedömningar.

För att komma till rätta med problematiken angående osäkerheter i de bedömningar som har utförts rekommenderas att flera försök genomförs där personer får bedöma vilka reaktionskrafter de anser vara hanterbara.

- Ytterligare accepterade reaktionskrafter.

Mer ingående studier kan utföras där olika angreppsställningar undersöks närmre och de olika gränserna för acceptabla reaktionskrafterna eftersöks beroende på arbetsställning. När detta är gjort skulle ett allmänt gränsvärde kunna sättas upp med bakgrund i ställningarnas sannolikhet.

- Strålrörens utformning.

I rapporten upptäcktes att enhetsstrålröret ansågs lättare att hantera vid samma reaktionskraft som ett dimstrålrör utrustat med handtag. Detta visar på vikten att strålrörens utformning undersöks vidare för att klargöra hur stor skillnad detta gör för hanterbarheten beroende på den angreppsställning som används.

- Tryck och flödeskombinationer.

I rapporten har det flera gånger nämnts att trycket kan höjas om flödet sänks och att en tillfredsställande strålbild ändå kan åstadkommas. Vidare undersökningar bör utföras som visar vilka kombinationer av tryck och flöde som skapar de bästa förhållandena för släckning. Viktigt att komma ihåg då är dock att t.ex. en finare strålbild även kan innebära en kortare kastlängd, varpå det blir än viktigare att särskilja vad målet med strålbildens användning är.

9 Litteraturförteckning

- Brandbekämpning*. (den 14 11 2014). Hämtat från Swedish Standads Institute:
<http://www.sis.se/milj%C3%B6-och-h%C3%A4lsoskydd-s%C3%A4kerhet/skydd-mot-brand/brandbek%C3%A4mpning> den 14 11 2014
- Akron. (u.d.). *Akron Brass full line catalog*. Hämtat från
<http://www.ssf.com.pe/productos/AKRON/CATALAGO%20AKRON%20BRASS.pdf> den 16 10 2014
- Eriksson, D., & Norberg, C. (2006). *Kompendium i grundläggande strömningslära*. Lund: Lunds universitet.
- Larsson, M., & Westerlund, J. (2006). *Högtrycksbrandsläckning - Ett beslutsunderlag för Räddningstjänsten*. Lund: Lunds universitet.
- Lundström, S. (04 2000). Högtrycksbrandsläckning. *Information från Räddningsverket*, ss. 1-4.
- Lundström, S., & Svensson, S. (1997). *Försök med högtrycksbrandsläckning*. Karlstad: Räddningsverket.
- Otter, J. (den 2 10 2014). Cold Cut Cobra. (J. Jönsson, Intervjuare)
- Räddningsverket. (1994). *Brandvattenförsörjning*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Räddningsverket. (1999). *Brandvattenförsörjning*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Sjöberg, J.-E., & Nilsson, K. (1986). *Brand*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Swedish Standard Institute. (1969). *Brandmateriel - Slangkoppling 63 för tryckslang. Slangkopplingsdel*. Stockholm: Swedish Standard Institute.
- Svensson, S. (2002). *The Operational Problem of Fire Control*. Lund: Lund University.
- Särdqvist, S. (2006). *Vatten och andra släckmedel* (2nd uppl.). Kalmar: Lenanders Grafiska AB.
- Söderberg, P. (den 2 10 2014). Cold Cut Cobra. (J. Jönsson, Intervjuare)

10 Bilagor

Diverse data som har använts för att sammanställa rapportens resultat redovisas här i sin fulla utsträckning.

A Bilaga – Grafer över testresultat

Nedanför presenteras uppmätta reaktionskrafter i kg för de strålrör som ingick i testet. Strålrören delas upp efter vilket pumpsystem de använder sig av.

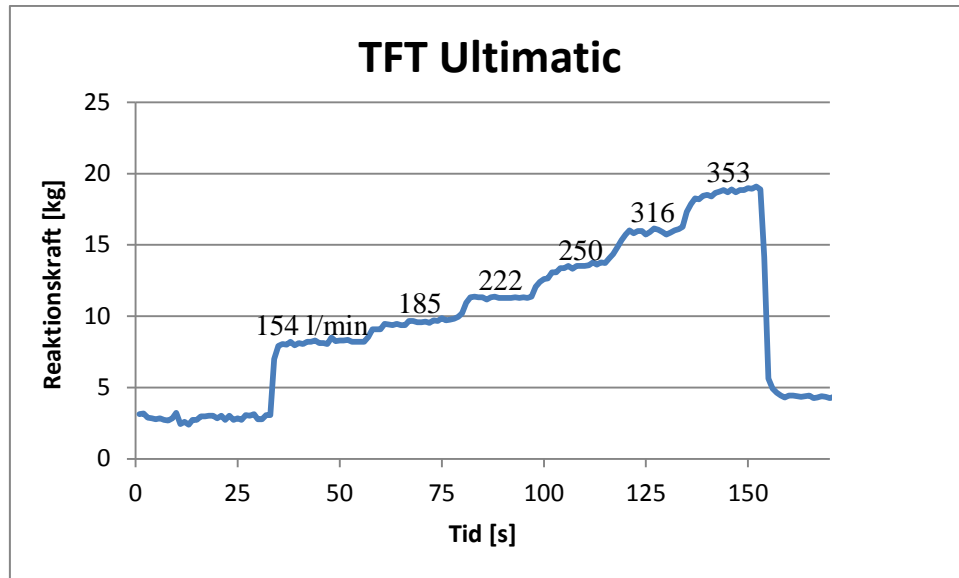


Diagram 5. Redovisning av uppmätta reaktionskrafter där pumptrycket startade på 5 bar och slutade på 10 bar. Flödet redovisas för respektive testat pumptryck.

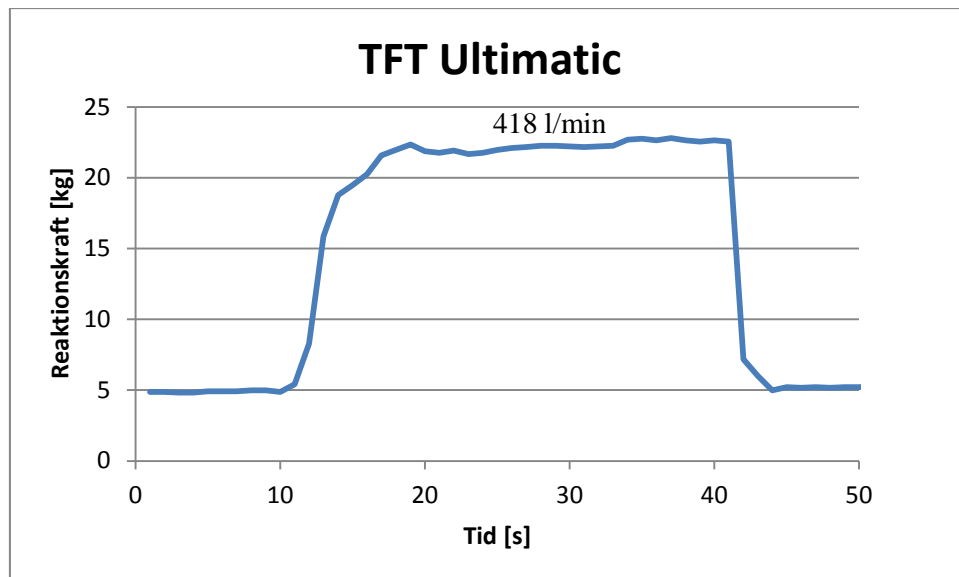


Diagram 6. Redovisning av uppmätt reaktionskraft vid 11 bars pumptryck.

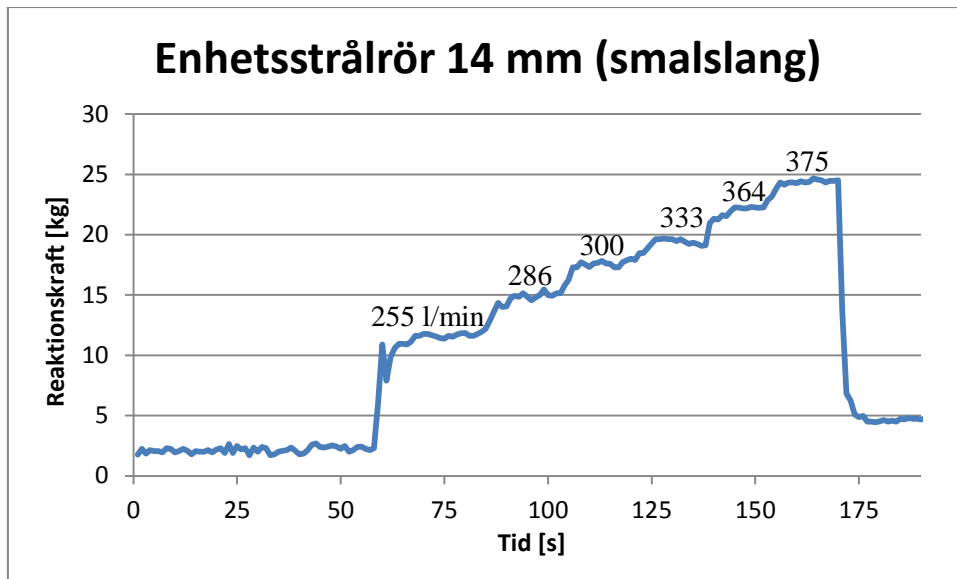


Diagram 7. Redovisning av uppmätta reaktionskrafter där pumptrycket startade på 5 bar och slutade på 10 bar. Flödet redovisas för respektive testat pumptryck.

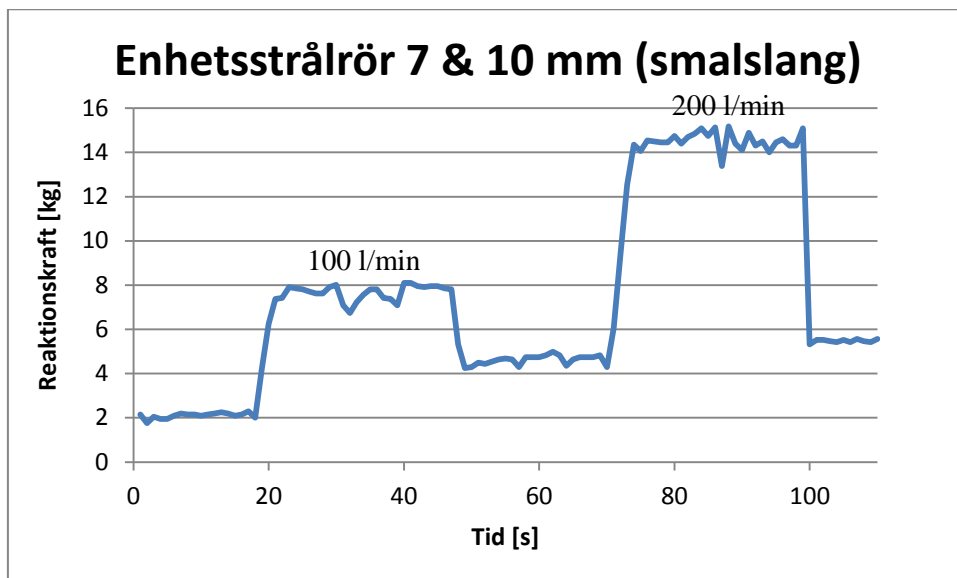


Diagram 8. Redovisning av uppmätta reaktionskrafter vid pumptrycket 10 bar. Flödet redovisas för respektive testat pumptryck.

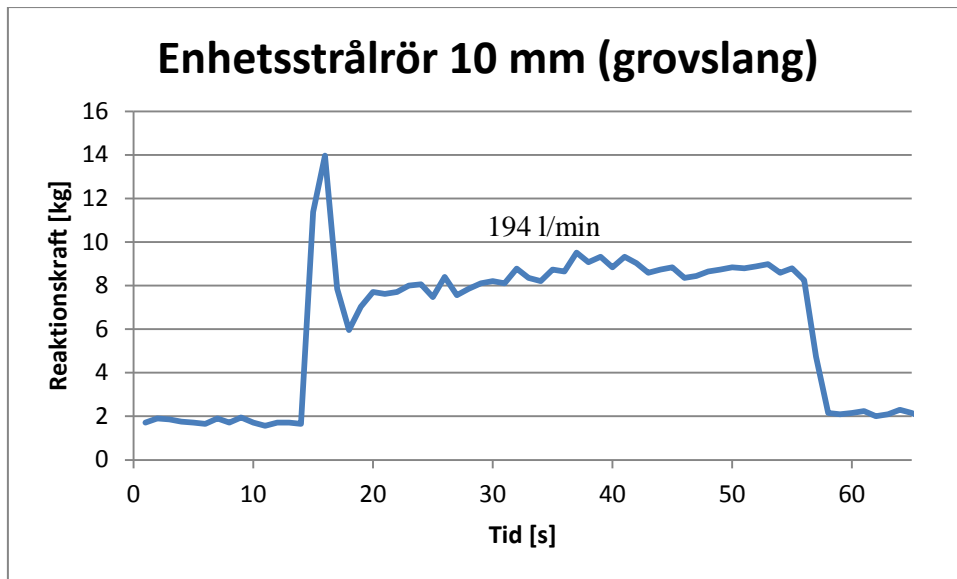


Diagram 9. Redovisning av uppmätt reaktionskraft vid 8 bars pumptryck. Toppen i början beror troligen på att systemet inte övergått till att vara statiskt.

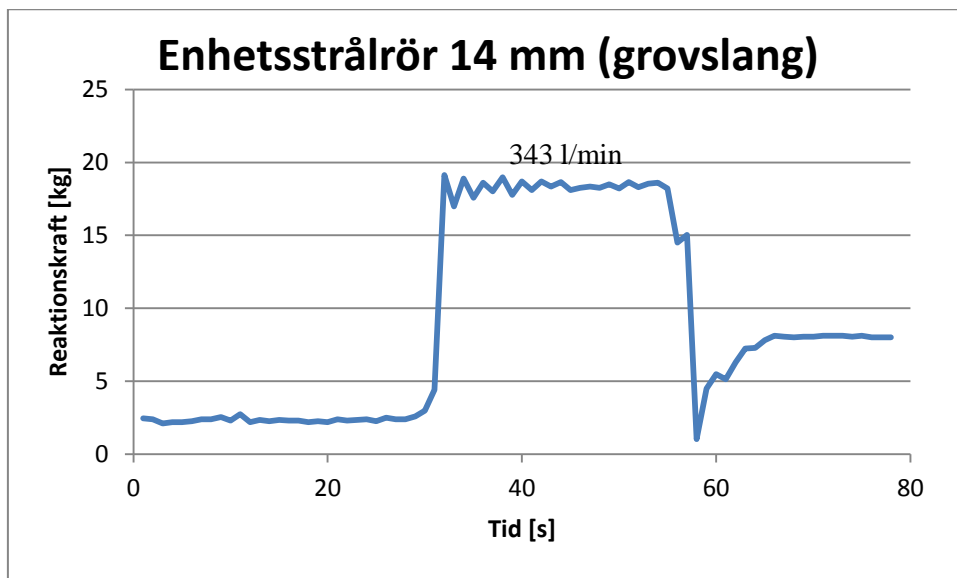
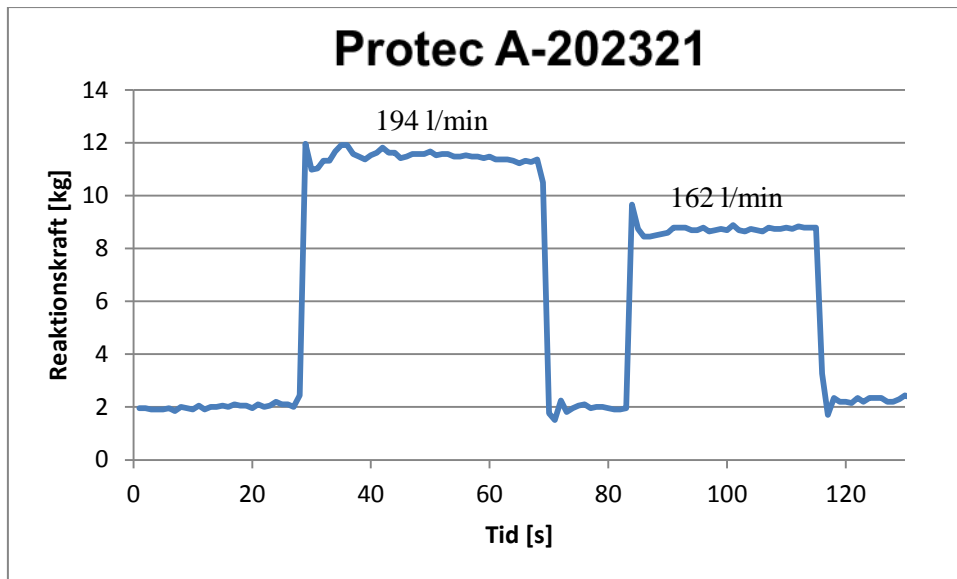


Diagram 10. Redovisning av uppmätt reaktionskraft vid 8 bars pumptryck.



Figur 25. Redovisning av uppmätta reaktionskrafter vid pumptrycket 40 och 30 bar. Flödet redovisas för respektive testat pumptryck.

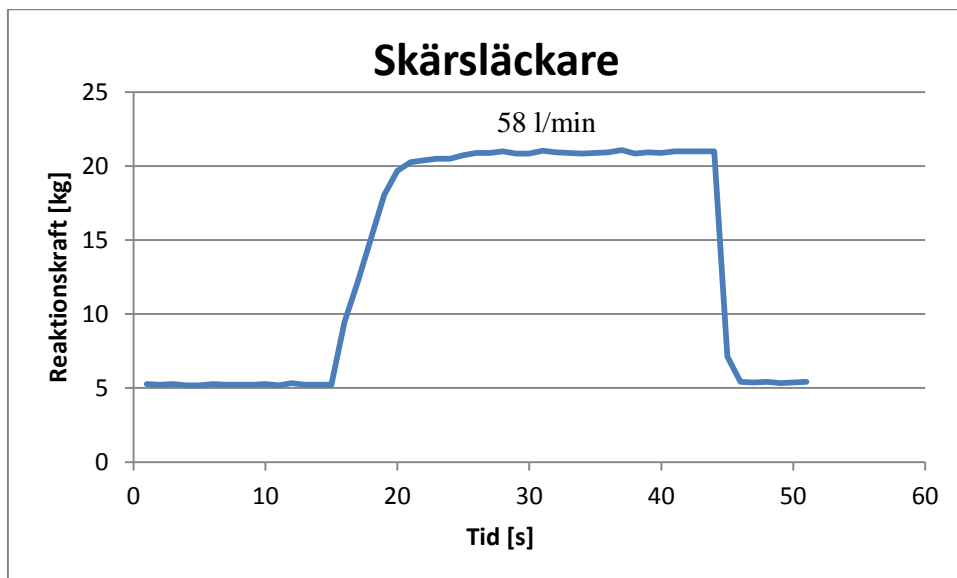


Diagram 11. Redovisning av uppmätt reaktionskraft vid 300 bars pumptryck.

B Bilaga – Svaresresultat från subjektiva bedömningar

165 cm 59 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
	Enhetsstrålrör smalslang	5	3
		6	4
		7	5
		8	
		9	
		10	
	TFT Ultimatic	5	2
		6	3
		7	4
		8	5
9			
10			
176 cm 74 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2
		6	2
		7	2-3
		8	3
		9	4
		10	4-5
	TFT Ultimatic	5	1
		6	2
		7	3
		8	3
9		4	
10		5	
188 cm 80 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2
		6	3
		7	3
		8	4
		9	5
		10	
	TFT Ultimatic	5	1
		6	1
		7	2
		8	3
9		4	
10		5	
	11		

185 cm 88 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2
		6	2
		7	4
		8	5
		9	
		10	
	TFT Ultimatic	5	2
		6	3
		7	3
		8	4
		9	5
		10	
	173 cm 71 kg	Strålrör	Pumptryck
Enhetsstrålrör smalslang		5	1
		6	2
		7	3
		8	4
		9	5
		10	
TFT Ultimatic		5	1
		6	1
		7	2
		8	3
		9	4
		10	5
174 cm 80 kg		Strålrör	Pumptryck
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2
		6	3
		7	4
		8	5
		9	
		10	
	TFT Ultimatic	5	1
		6	1
		7	3
		8	4
		9	5
		10	
	11		

192 cm 82 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang	
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2	
		6	3	
		7	5	
		8		
		9		
		10		
	TFT Ultimatic	5	1	
		6	2	
		7	2	
		8	3	
		9	4	
		10	5	
	182 cm 80 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
		Enhetsstrålrör smalslang	5	2
			6	3
			7	5
8				
9				
10				
TFT Ultimatic		5	1	
		6	2	
		7	2	
		8	3	
		9	4	
		10	5	
182 cm 92 kg		Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
		Enhetsstrålrör smalslang	5	1
			6	2-3
			7	3
	8		4	
	9		5	
	10			
	TFT Ultimatic	5	1	
		6	1	
		7	2	
		8	3	
		9	4	
		10	5	
		11		

175 cm 83 kg	Strålrör	Pumptryck	Uppskattad rang
	Enhetsstrålrör smalslang	5	2
		6	3
		7	4
		8	5
		9	
		10	
	TFT Ultimatic	5	1
		6	1
		7	2
		8	3
		9	4
		10	5
		11	

Tabell 9. Svaresresultat från de subjektiva bedömningar som utförts tillsammans med personens vikt och längd.