



För att omvandla:	till:	Multiplitera med:
m³/s	l/min	60 000
Pa	kPa	1 · 10 ⁻³
Pa	MPa	1 · 10 ⁻⁶
Pa	bar	10 · 10 ⁻⁶
Pa	atm	9,87 · 10 ⁻⁶
Pa	mvp	102 · 10 ⁻⁶
Pa	kp/cm²	10,2 · 10 ⁻⁶
MPa	kPa	1 000
MPa	bar	10
MPa	atm	9,87
MPa	mvp	102
MPa	kp/cm²	10,2

För omräkning åt motsatt håll, dela med omräkningsfaktorn i stället för att multiplicera. (CRC, 1986, sid F-299-)

I *vatten och andra släckmedel* ges en heltäckande beskrivning av de olika släckmedel som används för brandsläckning. Ungefär halva boken ägnas åt vatten. Avsnittet om tillsatsmedel är hälften så stort, och återstoden ger plats åt pulver och gaser, samt ett rejält avsnitt om varför bränder egentligen slocknar.

Boken riktar sig till dig som arbetar med brandsläckning. Perspektivet från svensk räddningstjänst dominerar dock. Upplägget spänner från praktiskt handhavande av räddningstjänstens utrustning till teoretiska resonemang om olika släckmekanismer.

En del av brandsläckningens utrustning och principer har varit oförändrade i över hundra år. Annat har följt med i samhällets och teknikens utveckling. Boken spänner över hela registret och innefattar både traditionell brandsläckning och nya koncept som troligen ingår i morgondagens brandsläckning.

Vatten och andra släckmedel

Stefan Särdqvist

Vatten och andra släckmedel



Stefan Särdqvist arbetar vid MSB Revinge, framförallt med kopplingen mellan räddningstjänst och forskning. Han har fördjupat sig i eller undervisat i ämnen som brandgasventilation, brandutredning, brandsläckning och släckmedel.

Stefan är brandingenjör och teknologie doktor, med en avhandling om släckmedel och dimensionering av släckinsatser.

Stefan Särqvist

Vatten och andra släckmedel

Fjärde utgåvan

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Vatten och andra släckmedel

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Författare: Stefan Särdaqvist

Redaktör: Anna-Lena Göransson

Foto, omslag: Peter Lundgren

Illustrationer: Per Hardestam m.fl., se separat förteckning s. 329

Formgivning: Karin Rehman

Layout: Advant

Tryck: DanagårdLiTHO

Upplaga nummer: 4

Publikationsnummer: MSB594 - reviderad april 2022

ISBN: 978-91-7927-264-7

Tidigare utgiven: 2013

© Stefan Särdaqvist och MSB

Innehåll

Förord	6
Inledning.....	7
Släckinsatsen som helhet.....	10
Bränder slocknar genom kylning	10
Val av släckmedel	14
Handbrandsläckare.....	25
Vatten	33
Fysikaliska egenskaper	33
Vattennät och brandposter.....	40
Brandpumpar.....	51
Slangsystemets delar	72
Flöden i slangsystem.....	104
Vattenstrålar	124
Vattensprinklersystem.....	134
Vattnets användningsområden.....	143
Brandgaskylning.....	147
Ytkylning.....	159
Vatten som gasformigt släckmedel	165
Vattenåtgång	167
Vattnets begränsningar.....	177
Tillsatsmedel	187
Fysikaliska egenskaper	188
Lagring och transport.....	196
Inblandning av tillsatsmedel	198
Strålrör och skumgeneratorer	211
Användning av tillsatsmedel vid klass A-bränder	219
Rumsfyllning med skum.....	221
Vätskebränder i spill och cisterner	227
Tillsatsämnenas begränsningar	244

Pulver	252
Fysikaliska egenskaper	252
Lagring och transport.....	253
Påföring av pulver	255
Användningsområden för pulver.....	256
Släckverkan.....	257
Pulvers begränsningar	262
Gasformiga släckmedel.....	264
Fysikaliska egenskaper	265
Lagring och transport av gaser	267
Påföring av gaser.....	268
Användningsområden för gasformiga släckmedel.....	269
Gasernas släckverkan.....	272
Gassläcksystemens begränsningar	273
Släckteori	278
Släckning av förblandade flammor	279
Släckning av diffusionsflammar genom gasfasverkan.....	292
Släckning av diffusionsflammar genom ytverkan	305
Glödbränder.....	311
Referenser	314
Nomenklatur	324
Register.....	326
Bildförteckning	329

Förord

Mycket vatten har runnit genom brandslangarna sedan den här bokens första utgåva 2002 och dess uppdateringar 2006 och 2013. Fysiken har inte förändrats sedan dess men däremot har den tekniska utvecklingen förändrat delar av räddningstjänstens utrustning. Allra mest har kanske räddningstjänstens förståelse i hälso- och miljöfrågor ändrats. Detta tillsammans har drivit förändringar i räddningstjänstens metoder.

Mycket i boken är sig likt sedan tidigare: släckteorin bygger fortfarande på Göran Holmstedts (1998) kompendium *Släckmedel och släckverkan* från Lunds Tekniska högskola. Räddningsverkets *Skumboken* av Mats Rosander och Krister Giselsson (1993) samt *Brandvattenförsörjning* (1999) är andra viktiga underlag. Utgåvan, inklusive bildmaterialet, är genomarbetad i sin helhet och vissa avsnitt är helt omskrivna. Ett par dussin nya referenser har tillkommit. Här vill jag rikta ödmjukhetens tacksamma tanke till referenslistans alla författare.

I samband med första utgåvan men även i samband med denna och de två tidigare revideringarna är det många, i synnerhet brandingenjörsstudenter och brandlärare vid MSB, som läst och kommenterat och hittat felaktigheter. Stort tack till er alla!

2020-01-01

Stefan Särndqvist

Inledning

Räddningstjänstens mandat är fastställt genom lagstiftningen. I lag om skydd mot olyckor anges att räddningstjänsten ska förhindra och begränsa skada. Det står inte att bränder ska släckas, utan det står att skadorna ska minimeras. Det innebär att räddningstjänsten inte får orsaka större skada med sin släckinsats än den skada som branden orsakar. Räddningstjänsten måste dessutom ta sitt ansvar som verksamhetsutövare enligt miljöbalken [MÖD 2019]. Det står också att räddningsinsatsen ska planeras och organiseras så att den kan genomföras på ett effektivt sätt. Att välja rätt metod är en viktig följd av en medveten taktik vid släckinsatser. Det finns många metoder, som alla ger olika utfall i form av skada på människor, egendom och miljö. Varje metod ställer dessutom krav på insatsen i form av personal, materiel och släckmedel.

De metoder som används inom räddningstjänsten härstammar ur den tekniska utvecklingen, samtidigt som de bygger på lokala traditioner som naturligtvis varierar i olika länder, i olika delar av ett land och i stora och små kommuner.

Det finns ofta flera olika sätt att åstadkomma samma resultat. Ett tydligt exempel är hur man får fram vatten från en släckbil till en brandman. Det kan göras genom att ha formstyvt centrumrullad slang kopplad till en högtryckspump. Det kan göras genom att dra färdigkopplad, dubbelrullad smalslang från en lågtryckspump. Det kan också göras genom att i stället dra grovslang ur slangkorg till grenrör och smalslang därifrån. På alla tre sätten får brandmannen vatten i sitt strålrör. Systemen har olika för- och nackdelar. Exempelvis är vissa system snabba och andra är robusta eller billiga. Beroende på vilka fördelar och nackdelar som är viktiga, kan olika system väljas. Denna mångfald är orsaken till varför boken ibland visar olika sätt att åstadkomma samma sak.

Bokens innehåll och upplägg

Denna bok behandlar släckmedlen och deras användning. Boken är skriven i första hand för utryckningspersonal inom räddningstjänsten, vilket innebär att räddningstjänstperspektivet dominerar. Boken behandlar till största delen släckning av brand i organiska material som utgör huvuddelen av brandsläckningsinsatser. I första hand behandlas bränder i urbana miljöer, som byggnader. Skogsbrand behandlas därmed inte. Fasta släcksystem behandlas i den mån de berör räddningstjänsten. För mer avancerade system och för dimensionering hänvisas till annan litteratur.

Budskapet är att det faktiskt går att analysera vilken av tillgängliga metoder som är mest lämplig att använda vid varje enskild brand. Det går också att bedöma hur stor mängd släckmedel som går åt, liksom personal- och materielbehov.

Mycket av bokens innehåll kretsar kring olika tekniska system och komponenter. Medvetet har inga produkter nämnts vid namn och lika medvetet har aspekter som rör funktions-säkerhet, underhåll och ekonomi utelämnats till stor del.

Efter inledningen kommer ett kapitel som berör hur man väljer släckmedel och som sätter släckmedelsvalet i ett större sammanhang. Handbrandsläckare behandlas också här.

Därefter kommer fyra kapitel som behandlar de olika typerna av släckmedel: vatten, tillsatsmedel till vatten, pulver och gasformiga släckmedel. Upplägget är ungefär lika för de fyra kapitlen. Först beskrivs släckmedlets fysikaliska egenskaper. Därefter beskrivs hur släckmedlet förvaras och vilken utrustning som behövs för att få det till branden. Hur och till vad släckmedlet kan användas liksom dimensionering kommer sedan, varefter kapitlen avslutas med en beskrivning av vilka skador släckmedlet kan ställa till med på människan, i miljön eller på egendom. Storleken på de fyra kapitlen avspeglar släckmedlens användning. Vattenkapitlet är klart störst, tillsatsavsnittet mindre och kapitlen om pulver och gaser ganska små.

De bakomliggande orsakerna till varför bränder av olika slag slocknar behandlas i kapitlet om släckteori. Utgångspunkten är de två typerna av flammor: förblandade flammor och diffusionsflammor. Dessutom skiljs mellan flammor som har en återkoppling till bränsleytan och flammor som inte har det.

*Lägenhetsbrand är en
bland många situationer
som räddningstjänsten
kan ställas inför.*



Boken innehåller en mängd referenser. Syftet med dem är att du ska kunna gå tillbaka till källan för att fördjupa dig. Det kan också hända att uppgifter från andra källor står i motsats till dem som presenteras här och dessutom kan tryckfel förekomma. Då måste originalreferensen kunna uppsökas av den som vill reda ut vad som egentligen ligger bakom uppgifterna.

Boken avslutas med en nomenklaturlista och ett register. I nomenklaturlistan finns alla de storheter med som används i boken, tillsammans med enhet. I olika tider har olika enheter använts för att beskriva samma storhet. Här följs SI-systemet, beroende på att detta kräver minst arbetsinsats vid beräkningar och minskar risken för fel. I äldre och i utländsk litteratur förekommer andra enheter, exempelvis för storheten tryck. På omslagets bakre flik finns därför en omräkningstabell som kan underlätta omvandlingen mellan olika enheter.

Kapitel 1

Släckinsatsen som helhet

Den vanligaste orsaken till att en brand slocknar är att temperaturen i flammen blir för låg. Detta brukar kallas termisk släckverkan. När vatten sprutas på en brinnande träyta, slocknar branden då flammen inte orkar hålla tillräckligt hög temperatur. Detta beror i sin tur på att koncentrationen pyrolysgaser sjunker och att energi går åt för att förånga vatten, i stället för att bryta ner och förånga bränsle.

När ett släckmedel sprutas in i en brinnande gasmassa är släckmekanismen också termisk. Nu handlar det om värmebalansen i själva flammen där den kemiska reaktionen äger rum. Släckmedlet, till exempel vattendroppar eller pulverkorn, måste värmas upp till samma temperatur som flammen. För detta åtgår så mycket energi att flammen slocknar. Ju mindre dropparna eller kornen är, desto effektivare blir värmeöverföringen.

En flamma slocknar när så mycket släckmedel tillförts att reaktionshastigheten sjunkit under den lägsta nivå som behövs för att underhålla förbränningsprocessen. Några enstaka släckmedel deltar i de kemiska reaktionerna i flammen så att halten radikaler blir för låg. Släckmedlet sägs då ha en kemisk verkan. Detta sätt att släcka kallas ibland för inhibition.

Bränder slocknar genom kylning

Ibland används brandtriangeln för att förklara vilka komponenter som krävs för att det ska kunna brinna. Brandtriangeln har tre sidor: bränsle, syre och värme. I vissa fall läggs en



1.1 Ju mindre partiklar släckmedlet delats upp i, desto större blir ytan som kommer i kontakt med flammorna. Om sidan på de små kuberna är 1 cm, blir ytan 24 cm² för den stora kuben, men 48 cm² för de små tillsammans. Halveras dropp/kornstorleken, dubblas ytan.



1.2 Förbränning innebär att bränsle reagerar med syre och att det frigörs värme. Släckning innebär att värmeförlusterna i flammen blir så stora att förbränningen upphör.

oförhindrad kedjereaktion till och triangeln blir en fyrsidig tetraeder. Synsättet är tyvärr alltför förenklat för att förklara varför bränder slocknar. Det förklarar vilka ingredienser som krävs för förbränning, men inte vilka mekanismer som orsakar att bränder vare sig uppkommer eller slocknar. Därför kan brandtriangeln inte användas vid diskussioner om brandsläckning.

Endast en del av bränslet, syret eller värmets behöver tas bort för att släcka en brand. Effekten av olika åtgärder är sammankopplade och varierar mycket. Vatten som sprutas på en brinnande yta, gör att ytemperaturen minskar och produktionen av pyrolysgaser med den. Då minskar mängden bränsle i flammen och värmeutvecklingen blir mindre. Samtidigt minskar syrekonzentrationen något på grund av den producerade vattenångan. Att spruta vatten på en bränsleyta påverkar alltså alla tre sidor i brandtriangeln. Den grundläggande släckegenskapen är dock att det inte frigörs tillräckligt mycket värme för att hålla temperaturen uppe i flammen.

Ibland blir dessutom brandtriangeln missvisande. Att släcka en brinnande vätskeyta med en koldioxidsläckare har i huvudsak termisk verkan. Syrekonzentrationen sjunker visserligen, men den viktigaste släckverkan är att koldioxiden måste värmas upp till flammans temperatur. Till detta åtgår så mycket energi att flammen slocknar.

Olika tidsskalor

Reaktionerna mellan bränsle och syre sker på molekylnivå. Det handlar om kemi. Transporten av bränsle, syre och förbränningsgaser är däremot fysikaliska fenomen. De kemiska reaktionerna är normalt snabba i förhållande till hur fort

Brandtriangeln anger vilka komponenter som är inblandade vid förbränning men duger inte till att förklara varför en flamma slocknar. Oftast slocknar flammen därför att för lite energi frigörs för att hålla flammans temperatur uppe.

gaserna transporteras i flammen. Den kemiska tidsskalan som beror på reaktionerna är därmed liten i förhållande till den mekaniska tidsskalan som styrs av tyngdkraften.

För bränder som håller på att slockna, exempelvis på grund av att släckmedel tillförs, sjunker temperaturen i flammen och reaktionerna blir långsammare. Tiden för den kemiska processen ökar då. Släckmedlet kylvlar flammen och reaktionerna bromsas. När den kemiska tidsskalan blir jämförbar med den mekaniska blir flammen mer och mer instabil för att till sist slockna helt. Flammen slocknar när gastransporten ur flammen blir snabbare än reaktionshastigheten.

Att gastransporten och därmed förbränningen styrs av gravitationen framgår om tyngdkraften ändras. Gränserna för brännbarhet och inertering är beroende av tyngdkraften, alltså den mekaniska tidsskalan. Normala variationer av tyngdkraften påverkar inte men effekterna blir påtagliga vid de små g-krafter som förekommer inom rymdfarten och vid de stora g-krafter som kan åstadkommas i en centrifug.

Avskiljning

Avskiljning eller lämpning innebär att inget släckmedel tillförs branden. Istället stryps bränsletillförseln. Detta är i grunden ett defensivt förhållningssätt, då det inte i första hand syftar till att släcka branden. I stället accepteras att det som är involverat i branden brinner, men ytterligare bränsle hindras från att involveras.

Avskiljning är inget släckmedel och inte heller någon renodlad släckmetod. Om en byggnad är helt övertänd och ger kraftig strålningsvärme mot en husvagn som står intill, innebär avskiljning att flytta undan husvagnen. Förmodligen kräver detta dessutom mindre resurser än om husvagnen kontinuerligt utsätts för vattenbegjutning och det är inte otroligt att det går snabbare att dra undan den än att skydda den med ett skumsegel. Skumsegel är för övrigt också en släckmetod som i vissa avseenden innebär avskiljning. Å andra sidan, om brandgasventilatorer öppnas i en brinnande industrihall och övertändning därmed förhindras i och med att ansamlade brandgaser släpps ut, vilken släckmetod används då?

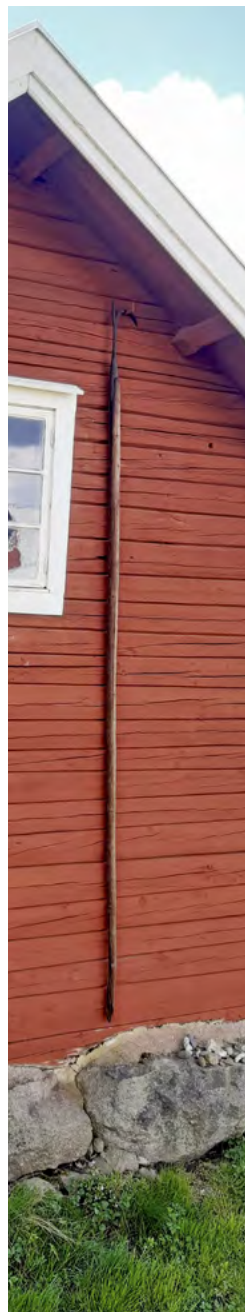


1.3 Det som brinner kan lämpas undan för att underlätta släckning.

Avskiljning är ett utmärkt förstahandsalternativ t.ex. vid brand i utströmmande gas. Brinnande gas från ett rörbrott kan för all del släckas med exempelvis pulver eller vattendimma. Tyvärr kommer gasen att fortsätta att strömma ut och eventuellt ansamlas. Då kommer riskerna att öka genom att en samlad, brännbar gasmassa skapas. Ett bättre tillvägagångssätt är att strypa gastillflödet och låta flammen självslockna.

Bränder i upplag är i allmänhet enklast att hantera genom att mekaniskt skilja brandhärd och opåverkat bränsle åt. Vid större bränder i upplag är i många fall avskiljning det sätt som branden faktiskt kontrolleras genom.

Under efterkrigstiden fanns stora mängder spannmål i reservlager runt om i landet. En av tillsyningsmännen, Bror Larsson, hade känt röklukt i Nässjölageret under någon dag. Lageret var stort, 40×80 m, och efter en tids letande lokaliserade han felet. Vid inlastningen hade spannmålsberget blivit för högt på ett ställe och begravt en glödlampa. För säkerhets skull informerade Larsson brandförsvaret innan lampan grävdes fram. Brandbefälet missbedömde situationen och några minuter senare kom tre brandbilar med påslagna sirener och slangutläggning påbörjades i syfte att med vatten släcka branden. Insatsen stoppades dock. Tack vare detta kunde den påverkade spannmålen bäras ut i plåthinkar. Fyra hinkar spannmål skadades men resten av lageret, ca 5 000 ton, räddades undan släckinsatsen.



1.4 Med hjälp av en brandkrok kunde man i äldre tider riva - eller montera ner - det brinnande eller intilliggande hus.



1.5 Genom att tänka i nya banor kan kanske insatsresultatet förbättras.

Varje uppgift kräver rätt verktyg och det finns inte något bra verktyg som både sågar, spikar och skruvar. På samma sätt finns inte någon universell släckmetod som passar till alla sorters bränder.

Val av släckmedel

Liksom målaren har många färger på sin palett, har räddningstjänsten en mängd olika släckmedel och tekniker för att bekämpa bränder. Det gäller att, för varje situation, välja den bästa lösningen för att åstadkomma så små skador som möjligt med minsta möjliga insats. Då ges bästa relationen mellan kostnad och nytta. En övervägning måste alltså göras av vilken typ av insats som totalt sett ger minst skada. Genom att studera olika släckmedel och metoder att släcka bränder går det att skaffa sig kunskap om för- och nackdelar med olika system. Det är dock inte nytänkandet i sig som ger ett bättre släckresultat. Nytänkandet måste också vara logiskt och riktigt.

Värt att tänka på är att alla bränder slocknar förr eller senare och att det tyvärr inte finns någon allroundmetod som passar till samliga insatssituationer. Manuell släckning med hjälp av en spridd vattenstråle är det som passar till flest bränder, men långt ifrån till alla.

I grund och botten är brandmannayrket ett hantverk. Oavsett vilken metod som väljs måste den vara väl inövad. Samtlig personal i tjänst vid en insats måste behärska den utrustning och de metoder som används. Detta gäller i synnerhet utrustning och metoder som sällan används, dvs. där personalen inte kan få tillräcklig erfarenhet från användning under skarpa förhållanden.

En brand på vinden till ett hyreshus från 60-talet, med betongbjälklag mellan krypvind och översta våningen kan i många fall orsaka minst skada om släckning inte genomförs. Konstruktionen får brinna, men brandspridningsrisken beaktas. Takfoten kommer till exempel att brinna och falla ner, och därför måste vattenstrålar finnas framme runt hela byggnaden. Bjälklaget, och för övrigt resten av huset också, måste kontrolleras så att brandspridning inte sker genom brister i bjälklag och andra konstruktioner. Beredskap måste hållas så att branden kan släckas om det bedöms nödvändigt, exempelvis med skum.

Tabellen på nästa uppslag ger en sammanställning av olika typer av situationer och lämpligheten hos olika släckmetoder. Samtliga värderingar gäller med reservationen "det beror på". Vid tillämpning i verkliga situationer finns alltid ytterligare fakta i målet som innebär att bedömningen kan ändras.



1.6 Med vatten har strålföraren svårt att komma åt branden i pappersrullarna. Brandgasutvecklingen kan så småningom tvinga honom att retirera.



1.7 Tungskum rinner ner mellan rullarna och kommer åt bättre. Släckningen går därmed snabbare.



1.8 Med ett fast släcksystem går släckningen ännu bättre, främst på grund av munstyckenas placering ovanför branden.

Tabellen ska alltså endast ses som en grund för diskussioner om för- och nackdelar med olika släckmedel.

Insatssituation	Sluten vattenstråle	Spridd vattenstråle	Vattendimma	Vatten med tillsats ¹	Tung-, mellanskum ¹	Lättskum	Pulver ¹	Gasformigt släckmedel ¹	Lämpning ² m.m.
Förhindra brandspridning	***	***	***	****	****	***	*	*	****
Brand i föremål	****	*****	****	*****	***	**	****	**	****
Rumsbrand	***	*****	*****	*****	***	****	***	**	**
Konstruktionsbrand	*	**	****	****	****	**	*	**	**
Självtant. i lagrat material	**	*	*	***	**	*	*	****	****
Pölbrand	*	*	*	**	*****	**	***	*	**
Brännbar gas	*	**	***	**	*	***	**	**	*****
Brand i elutrustning	*	**	****	**	**	***	****	****	***
Metallbrand	**	*	*	**	*	**	****	**	***

1.9 En grov bedömning av i vilka situationer som olika släckmedel är lämpliga vid räddningstjänstens insatser.

Släckmedel med utmärkt effekt har markerats med *****. Sedan är det en glidande skala ned till * som innebär att släckmedlet har liten effekt eller till och med kan förvärra läget.

1. Egenskaperna varierar beroende på kemisk sammansättning.

2. Lämpning m.m. kan innebära till exempel att en gaskran stängs av, att en bil flyttas eller andra åtgärder som innebär att bränsletillgången regleras.

Denna typ av tabeller kan vara olämpliga och rent av farliga om de används på fel sätt. En tabell är kategorisk, men slutsatserna är endast giltiga i ett fåtal och väl definierade situationer, på samma sätt som det är omöjligt att göra en heltäckande checklista. Om tabellens innehåll analyseras upptäcker man snart att insatssituationerna inte är särskilt väl definierade och att det är lätt att hitta situationer där rekommendationerna blir helt annorlunda.

Syftet med tabellerna är ett försök att hjälpa läsaren att skapa sig en egen bild om för- och nackdelar med olika släckmedel. Då kan läsaren göra egna bedömningar i varje enskild situation och dra egna slutsatser om vad som är mest lämpligt i den aktuella situationen.

Stycket ovanför tabellen är alltså så viktigt att det förtjänar att upprepas. Det finns inga definitiva sanningar.

Tabellen ger en sammanställning av olika typer av situationer och lämpligheten hos olika släckmetoder. Samtliga värderingar gäller med reservationen "det beror på". Vid tillämpning i verkliga situationer finns alltid ytterligare fakta i målet som innebär att bedömningen kan ändras. Tabellen ska alltså endast ses som en grund för diskussioner om för- och nackdelar med olika släckmedel.

"Det hände för en del år sedan att Stockholms brandförsvar gång på gång blev kallade till en restaurang där det brann i imkåpan. Vi släckte, som vi var lärda, med kolsyra. När historien ideligen upprepades blev jag till sist "sint" och beordrade pulver. Och så det tog skruv. Som genom ett trollslag upphörde alla bränder. Och detta hände på 50-talet."
(Bergström, 2001)

Vid dimensionering av automatiska släcksystem kan en sammanvägd analys göras på motsvarande sätt. Aspekter som ingår i bedömningen kan exempelvis vara pris, vikt, och platskrav för olika tänkbara typer av anläggningar (Olausson, 2000). Olika faktorer har olika tyngd i bedömningen, allt beroende på om det är ett modernt stridsflygplan eller ett medeltida slott som ska skyddas. Även tabellen med övriga aspekter gäller under förutsättningen "det beror på".

De metoder som används vid insatser måste vara väl inövade. Även utrustning som används sällan måste kunna hanteras.

Bedömnings- aspekter	Sluten vattenstråle	Spridd vattenstråle	Vattendimma	Vatten med tillsats ¹	Tung, mellanskum ¹	Lättskum	Pulver ¹	Gasformigt släckmedel ¹	Lämpning ² m.m.
Skada på liv och hälsa	****	*****	*****	****	****	**	***	**	***
Egendomsskador	*	***	****	***	**	***	*	*****	*****
Miljöskador	*	***	****	****	*	**	****	***	****
Sikt	*****	****	**	****	****	*	*	**	***
Kastlängd/avstånd	*****	****	**	****	*****	**	****	***	***
Personalåtgång	****	****	****	****	***	****	****	****	***
Övrig resursåtgång	**	***	****	****	***	****	***	*	***

1.10 Även övriga aspekter
går att bedöma vid val
av släckmedel för en
släckinsats.

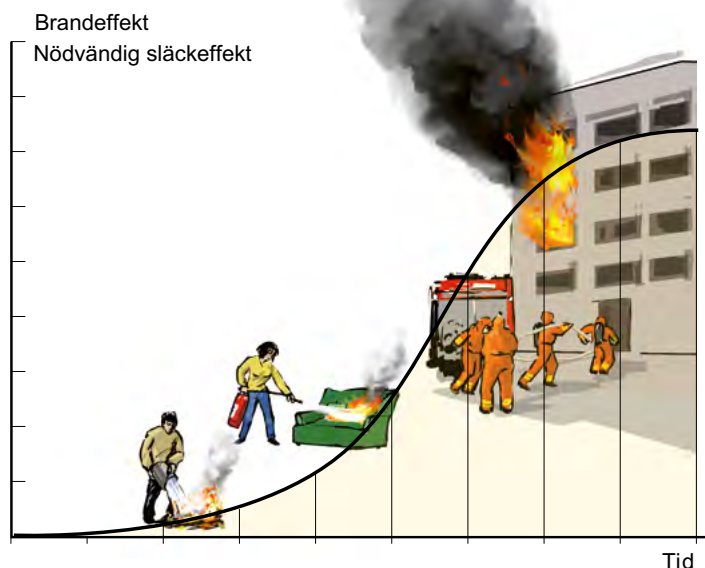
Indelningen följer samma princip som i förra tabellen, med ***** för det bästa alternativet och * för det sämsta.
1. Egenskaperna varierar beroende på kemisk sammansättning.
2. Lämpning m.m. kan innebära till exempel att en gaskran stängs av, att en bil flyttas eller andra åtgärder som innebär att bränsletillgången regleras.

Optimering av släckmedelspåföringen

Att en liten brand kräver lite släckmedel och att en stor brand kräver desto mer är uppenbart. Dessutom växer bränder i storlek med tiden. Alltså krävs antingen små resurser tidigt i brandförloppet eller stora resurser senare i brandens förlopp. Skillnaden mellan tidigt och sent i ett brandförlopp kan röra sig om några enstaka minuter.

Tiden det tar att släcka en brand beror av släckmedlets påföringshastighet. Med otillräcklig påföringshastighet kommer släckning inte att kunna åstadkommas. Om påföringshastigheten ökas kommer branden så småningom att kunna släckas. Kritisk påföringshastighet kallas det släckmedelsflöde som precis räcker för släckning. Tyvärr innebär den kritiska påföringen att tiden för släckning blir i det närmaste oändlig.

*A little fire is quickly trodden out;
Which, being suffered, rivers cannot quench.
Shakespeare (1594)*



1.11 En liten brand kräver lite släckmedel. Stora bränder kräver mycket släckmedel.

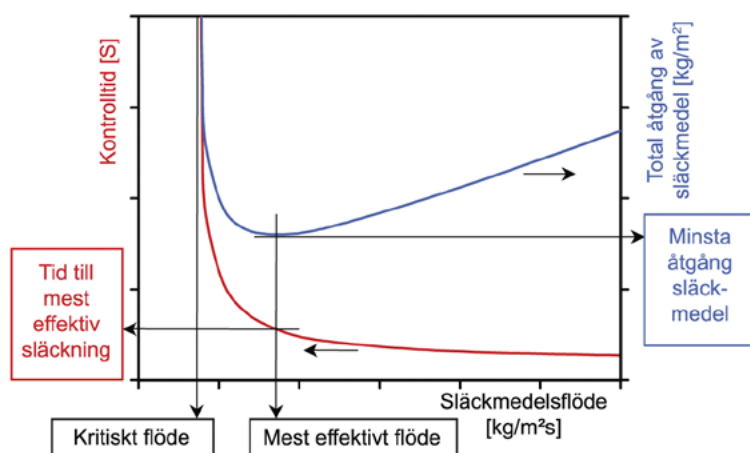
Ju mer släckmedel som påförs desto snabbare går släckningen. Ökas påföringshastigheten alltför mycket kommer allt släckmedel inte att utnyttjas.

Det principiella utseendet på sambandet mellan släcktid och påföringshastighet är lika oavsett vilket släckmedel som används, exempelvis både vatten och pulver. Vid en viss minsta påföring går släcktiden mot oändligheten. Det är alltså släcksituationen som ger den kritiska påföringshastigheten.

Det är dock inte bara påföringshastigheten, utan också den totala släckmedelsåtgången som är av intresse. Multipliceras påföringshastighet med släcktid fås den totala släckmedelsåtgången. Kurvan över den totala släckmedelsåtgången har ett intressant utseende. Vid flöden nära den kritiska påföringshastigheten blir totalvolymen stor. Det beror på att släcktiden är lång. Men även för stora flöden, vid överkill, blir totalvolymen stor. Det beror på att släckmedelspåföringen är så stor att allt släckmedel inte utnyttjas effektivt. Mellan dessa båda ytterligheter finns en minsta totalvolym. Denna minsta totalvolym skulle vi kunna kalla den optimala påföringshastigheten.

Att kurvan för den totala mängden släckmedel får formen av en fiskkrok beror på att hur stort flödet än blir, kommer det ändå att ta en viss tid att åstadkomma släckning. Ju kortare den totala tiden är, desto större andel av tiden handlar om att få släckmedlet på plats. Denna tid kan aldrig bli noll och är i många fall oberoende av den totala mängden släckmedel.

1.12 Kontrolltiden och den totala släckmedelsåtgången varierar med påföringshastigheten hos släckmedlet.



För en påföringshastighet som tycks ligga någonstans mellan två och fyra gånger den kritiska blir den totala åtgången av släckmedel minst, och släckmedlet utnyttjas bäst. Vid större påföringshastigheter ökar släckmedelsmängden. Detta leder dels till ökade kostnader för släckinsatsen, dels till direkta skador av släckmedlet, till exempel i form av vattenskadorna vid användandet av vatten.

Mängden släckmedel som diskuteras här rör det släckmedel som verkligen når branden. Räckvidden är ofta begränsad och en strålförare måste därför komma nära branden vid släckning, vilket ibland är omöjligt. Denna aspekt måste man ta hänsyn till vid all dimensionering. Släckmedlets verkningsgrad är alltså begränsad och endast en del av släckmedlet utnyttjas effektivt på grund av brister i påföringen. Det finns exempel på släckinsatser som i stort sett helt saknat effekt just på grund av att strålförare inte kunnat nå branden. Branden får brinna ut av sig själv och blir därmed långvarig. Det tydligaste exemplet på detta är förmodligen bränder i tunnlar (Bergqvist, 2000).

I många situationer är det omöjligt att bedöma hur stor branden kommer att bli. Erfarenheten från många större bränder är att det är bäst att "dra på rejält" från början och senare skicka hem resurser oanvända, i stället för att komma på efterkälken och tvingas vänta på resurser. Dessutom blir det en eftersläpning mellan beställda resurser och tillgängliga resurser som kan bli besvärande.

Ännu bättre är att i förväg ha bedömt resursbehovet vid bränder i specifika objekt. En genomtänkt dimensionering i förväg, när nödvändigt faktaunderlag kan hämtas in, är rimligen bättre än en bedömning i stridens hetta.

*Låter det komplicerat? Lösningen är enkel:
Se till att få vatten på branden. Så fort som möjligt.*

Släckinsatsens delar

Räddningsinsatser kan brytas ner i delar, där de olika delarna kan beskrivas var för sig. Av delarna byggs sedan en släckinsats. För varje del av insatsen kan göras en bedömning av vad som ska göras och vilka resurser som krävs.

Det går utmärkt att i förväg bestämma exempelvis hur lång tid det tar innan en motorspruta börjar ge vatten eller innan en given längd slang är utlagd. Detta går att öva i förväg, vilket ger en koppling till räddningstjänstens övningsverksamhet.

Vattenförsörjning är ofta en central funktion vid släckinsatser. (Melin m.fl., 1998 a).

Nivå 1 kan innebära att 1 person, med tillgång till 1 släckbil ska kunna förse baspunkt för rökdykning med vatten inom 60 s och därefter säkra vattentillgången via brandpost.

Nivå 2 kan innebära att 1 person med tankbil ska kunna påbörja vattenförsörjning inom 60 s och att kunna leverera i genomsnitt 300 l/min på ett avstånd av upp till 5 km från brandpost.

Nivå 3 kan innebära att 2 personer med tillgång till slangjeep och motorspruta ska kunna angöra öppet vattentag och leverera vatten inom 120 s, samt lägga ut 600 m enkel slang eller 300 m dubblerad ledning inom 20 minuter.

Nivå 4 skulle kunna innebära att 3 personer med två slangjeepar och motorsprutor ska kunna leverera 600 l/min vatten via seriekörning på 1 200 m avstånd från vattentag inom 40 minuter eller att leverera 1 800 l/min 1 000 m från öppet vattentag via 110 mm slang och motorspruta. (Melin m.fl., 1998 b)

Detta tankesätt låg även bakom civilförsvarets organisation. För varje grupp definierades vad gruppen skulle klara och vilka resurser den hade till sin hjälp. (Handbok BRAND, 1986)

Civilförsvarets brandgrupp bestående av gruppchef, ställföreträdande gruppchef och sex brandmän hade till sitt förfogande en motorspruta av vardera klassen 1 och 2, en 500 l vattentank och två fordon med släp. Slangen bestod av 950 m 76 mm slang, 400 m 63 mm och 600 m 38 mm slang. Armaturen utgjordes av 3 grenrör och 4 mindre och 3 större strålrör. Två tryckluftsapparater, en isborr, två bårar och två samaritväskor kompletterade utrustningen. Med detta skulle brandgruppen omedelbart efter ankomst till skadeområde kunna utföra brandbekämpning med medfört vatten och inom 15 minuter efter ankomst kunna svara för egen vattenförsörjning från vattentag på upp till 600 m från brandplats. Gruppen skulle dessutom kunna upprätta en 100 m lång begränsningslinje upp till 400 m från vattentag och kunna bekämpa punktbränder 600 m från vattentag. Gruppen skulle dessutom kunna utföra insats i slutna utrymmen, ge första hjälpen och transportera skadade till uppsamlingsplats.

En s.k. vattengrupp slang bestod av fyra personer. Utrustningen utgjordes av två slangbilar och en klass 3-spruta. De hade 1 000 m 110 mm slang och 300 m 76 mm slang. Övrig utrustning bestod av 3 grenrör för 110 mm slang, två radioapparater, en strålkastare och en isborr. Med detta skulle vattengruppen inom 15 minuter efter ankomst kunna börja seriepumpning tillsammans med två brandgrupper. Inom 8 timmar skulle den kunna återfylla en 400 m³ branddamm från ett vattentag högst 1 000 m från branddammen. Gruppen skulle också kunna ge första hjälpen åt skadade.

Dessa exempel talar om vad styrkan ska klara av oberoende av branden. Om resonemanget vidareutvecklas kan styrkans kapacitet ställas emot brandens storlek. Brandens storlek kan exempelvis uttryckas som effektutveckling (MW) eller som mängd bränsle som brinner per tidsenhet (g/s). Denna kan ställas i relation till hur stor mängd släckmedel som behövs. Då fås en antydning om hur stora släckresurser som behövs till bränder av olika storlek. Det ger ett bättre underlag till att bedöma insatsstyrkors storlek och nödvändiga resurser vid brand i olika objekt.



1.13 Det första steget mot en långsiktig säkerställd vattentillförsel är normalt att angöra brandpost.

Släckinsatsens planering

När en släckinsats sätts igång, måste räddningsledaren ha en plan för hur insatsen är tänkt att fungera. I vissa fall är planen outtalad, ofta på grund av att situationen är välbekant och att styrkan arbetar efter ett invariant mönster. Ibland krävs improvisation för att nå bästa resultat, men då är det värt att komma ihåg att det måste finnas en plan innan man kan avvika från den.

I räddningstjänstens uppgifter ingår att planera för kommande uppdrag. Däri ingår att förbereda så att varje brand blir angripen på bästa sätt, med hänsyn tagen till brandens krav och räddningstjänstens förutsättningar. Att vara mentalt förberedd när man ställs inför olika situationer ger ett bättre insatsresultat.

För särskilda anläggningar eller grupper av anläggningar eller byggnader, kan tänkbara eller troliga brandförlopp identifieras. Med hjälp av olika ingenjörsmodeller kan brandens intensitet och utveckling bedömas. Det finns metoder som beskriver hur brandens effektutveckling ökar och hur detta i sin tur påverkar exempelvis temperaturen i brandrummet eller strålningen till angränsande byggnader.

Är brandens storlek och verkningar kända, kan också räddningstjänstens motåtgärder planeras. Denna planering har två utgångspunkter. Dels ger planeringen en ökad kunskap om hur olika brandskyddssystem fungerar. Denna kunskap är viktig om det till exempel innebär att räddningstjänsten måste välja

Om inte räddningstjänstens personal förstår hur brandskyddet är tänkt att fungera i en byggnad, kan de aldrig hantera systemet som avsett.

mellan att öppna brandgasventilatorer eller inte. Dessutom innebär planeringen att tänkbara brandscenarier och motåtgärder identifieras. Detta innebär att den effektivaste metoden kan väljas, men också att de fall där räddningstjänstens insats är otillräcklig kan uppmärksammas. (Särdqvist, 1996)

När det är dags för räddningstjänstens ingripande har branden redan utbrutit. Det är dock värt att notera att det fortfarande finns ett passivt och/eller aktivt brandskydd i varje byggnad och anläggning. Detta system måste räddningstjänsten kunna hantera.

Det brinner kraftigt inne i en liten industribyggnad och brandventilatorer har öppnats på taket. Om en vattenkanon ställs upp som sprutar in vatten genom öppningen kommer brandgaserna att kylas och utströmningen minska. Detta kan vara taktiskt bra eller dåligt, men det är viktigt att veta att de två åtgärderna i detta fall motarbetar varandra.

Genom att gå igenom vilka olika metoder som finns att tillgå på räddningstjänstens palett av åtgärder, kan de metoder identifieras som gör att målet nås. Dessutom kan den metod identifieras där målet nås med hjälp av minsta mängd personal, materiel och släckmedel.

Insatsplanen är ett väsentligt dokument som sammanfattar detta arbete. Vid arbetet med insatsplanen studeras byggnaders totala brandskydd för varje anläggning specifikt. Det är dock värt att påpeka att ju enklare en plan är, desto färre saker kan gå fel. Gör därför aldrig en så komplicerad plan att den inte går att förklara för dem som ska genomföra den. Planen får inte heller bli så omfattande att ingen orkar uppdatera den.

Kvitto på insatsen

Tiden tills branden är under kontroll varierar med släckmedelspåföringen. Om ingen effekt av insatsen märks inom en mycket kort tidsperiod, är inte släckmedlet, påföringshastigheten och/eller appliceringsmetoden rätt. Tiden det tar att på så sätt få kvitto på om insatsen lyckas eller inte är endast någon eller några minuter. Detta gäller dessutom oavsett vilket släckmedel som används, så länge grundinriktningen är offensiv. Kontrolltiden är i det närmaste konstant för alla bränder som går att släcka och när släckmedelspåföringen närmar sig den kritiska ökar kontrolltiden dramatiskt.

”De första fem minuterna ger de följande fem timmarna av en insats.”

Effekten av en insats märks alltså omedelbart om den är rätt dimensionerad. Märks ingen tydlig effekt, bör du fundera på om du valt rätt släckmedel, appliceringsmetod och påförings-hastighet. Har inget avgörande kommit inom en halvtimme, är den valda metoden eller dimensioneringen garanterat fel!

Resonemanget gäller för insatser där målsättningen är offensiv, och insatsen går ut på att släcka branden. Defensiva insatser, där målet är att förhindra brandspridning, men i övrigt att inte försöka släcka branden, är mer tidskrävande. Då gäller att brandspridning ska förhindras under så lång tid som krävs för att branden ska falna av brist på bränsle.

Vid studier av inträffade storbränder kan konstateras att räddningsledningen inte alltid haft kännedom om brandens omfattning och utbredning (Särdqvist, 1998). Sammanhanget i vilket släckinsatsen ska göras är alltså oklart och om brandens förutsättningar är okända, kommer räddningstjänstens insats inte att bli optimal. Om brandens storlek inte är känd, går det inte heller att göra någon vettig dimensionering av insatsen. (Svensson, 1999)

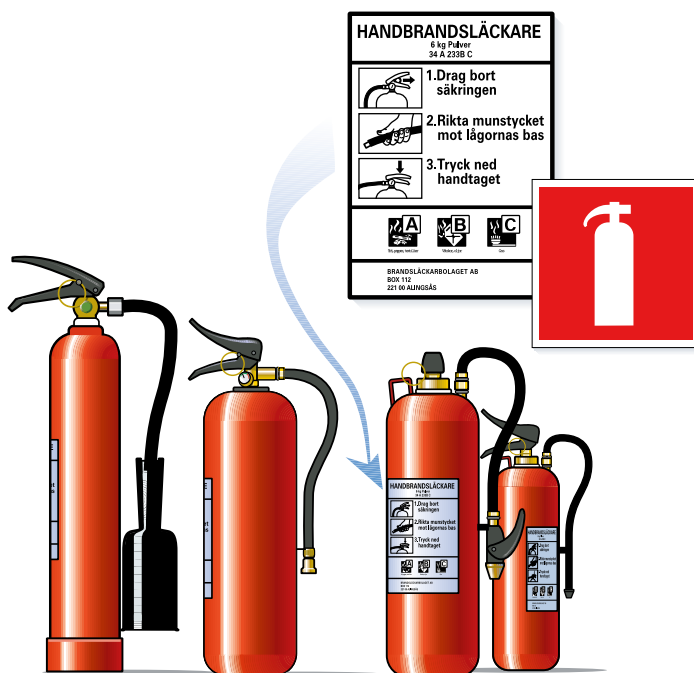
Det finns tyvärr exempel på insatser där räddningstjänsten arbetat timtals med att försöka släcka en brand och där så småningom byte av släckmedel eller släckmetod fått branden under kontroll på någon timme. I dessa fall borde insatsen omprövats långt tidigare för att minska onödiga skador och insatskostnader.

Även om de stora bränderna skapar problem för räddningstjänsten, släcks merparten av alla bränder som små eller mycket små. Mycket är vunnet om det finns personer i brandens närhet som kan göra en släckinsats.

Handbrandsläckare

Handbrandsläckare är avsedda för snabba insatser mot bränder som ännu inte hunnit växa sig stora. De ska därför kunna hanteras av gemene man och utan krav på någon speciell skyddsutrustning. En släckare får därmed inte vara så otymplig och tung att personer i släckarens närhet inte orkar använda den. En släckare med 12 kg släckmedel kan fungera i räddningstjänstens fordon, men på de flesta andra platser blir den alldeles för tung.

1.14 De vanligaste typerna av handbrandsläckare: 5 kg koldioxid, 9 l skum samt 9 respektive 6 kg pulver. Etiketten på släckaren är standardiserad och innehåller uppgifter om typ och mängd av släckmedel, klass, instruktion m.m. Piktogram underlättar användningen för personer som inte kan läsa instruktionen. Platsen för handbrandsläckare märks ut med en standardiserad skylt (AFS 2020:1).



Val av släckare

Pulver ger den största släckeffekten per kg släckmedel. En 6 kg pulversläckare ger alltså bättre slagkraft mot brand än en skumsläckare eller koldioxidsläckare med samma mängd släckmedel.

Val av handbrandsläckare görs alltid utifrån tänkt placering. Pulversläckare är minst känsliga för frost och väljs därmed i första hand vid placering utomhus. Andra faktorer som brandstorlek, släckkapacitet, vikt, risk för vådautlösning, renhet, vindkänslighet m.m. påverkar valet av typ och storlek av handbrandsläckare. Rekommendationer om vilken släckare som passar bäst i olika miljöer finns från olika intressenter, beroende på verksamhetsområde. Riktlinjer finns exempelvis från Arbetsmiljöverket, Konsumentverket, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Sjöfartsverket, Trafikverket, samt från olika försäkringsbolag, räddningstjänster och brandredskapsförsäljare.

Rekommendationerna varierar något och är olika detaljerade. En handbrandsläckare med 6 kg pulver är lämplig i de flesta byggnader. Det gäller exempelvis bostäder, hotell, kontor, vårdanläggningar m.m. De tre viktigaste faktorerna att utgå ifrån

för att avgöra om pulver eller vätskebaserat släckmedel är bäst, är att pulver dammar ner och är svårt att sanera, att pulver har bäst släckeffekt, men att vätskebaserade släckmedel har en för gemene man mer förutsägbar effekt. Betydelsen hos de tre faktorerna varierar med var släckaren ska placeras och med vem som ger rekommendationen. I kulturmiljöer är exempelvis vätskebaserade släckmedel att föredra.

I restaurangkök bör en släckare med 5 kg koldioxid väljas. I pannrum, garage och liknande kan en 9 kg pulversläckare behövas och i högriskmiljöer är det motiverat med ännu mer kraftfull släckutrustning. I elcentraler väljs eventuellt koldioxid. I mindre fordon kan en släckare med minst 2 kg pulver vara lagom. De flesta större fordon samt skogs- och lantbruksmaskiner bör ha en 6 kg pulversläckare. I vissa fall krävs fler än en släckare. (*Handbrandsläckare*, 1998)

Placering och underhåll

Traditionellt rekommenderas högst 25 m gångavstånd till brandsläckare och minst en per våningsplan i allmänna utrymmen och på arbetsplatser. Dessutom placeras brandsläckare i anslutning till särskilda riskkällor.

Släckaren placeras nära en in- eller utgång. Då finns alltid en utrymningsväg bakåt när branden angrips. Man kan då avbryta släckinsatsen och utrymma om branden växer för fort. Dessutom finns släckaren nära till hands vid brand i en folktom lokal som upptäckts genom exempelvis röklukt.

Placering av en handbrandsläckare ska vara utmärkt: väl kompletterad med en standardiserad skylt. Skylten gör det möjligt att se var släckaren finns även om det är folk i vägen. Inomhus bör släckaren hängas på väggen och inte högre än att den bekvämt kan lyftas ner. För montering i fordon m.m. finns särskilda fästen, så att släckaren kan placeras där den bäst behövs och så att den blir lätt åtkomlig. Vid behov placeras släckaren i ett skyddsskåp.

Utöver själva släckaren krävs dessutom tillsyn och underhåll av släckaren samt övning och utbildning för de tilltänkta användarna.

Vid månadstillsyn kan innehavaren exempelvis kontrollera att släckaren

- *är rätt placerad i lokalen,*
- *har en varselskylt som syns tydligt,*
- *har rätt innehåll och storlek för sin placering,*
- *har en upphängningsanordning som sitter fast, men ändå gör släckaren lätt att lyfta ner,*
- *inte är skadad eller rostig utvändigt,*
- *är plomberad,*
- *har rätt laddningstryck enligt manometern,*
- *har en tydlig bruksanvisning.*

Service och underhåll av släckare kräver särskild kunskap och utförs därför av särskilda brandredskapsfirmor. Större företag kan ha kompetensen internt, liksom räddningstjänsten, som i vissa fall sköter service och underhåll av kommunens släckare. Normalt besiktningsintervall är ett år och att rutinen för detta fungerar kan kontrolleras i samband med tillsyn enligt lag om skydd mot olyckor. För vissa tryckkärl, exempelvis släckare med koldioxid, och flaskor med drivgas krävs en särskild revisionsbesiktning.

Utformning av handbrandsläckare

En normenlig handbrandsläckare är röd och märkt med bland annat typ av släckmedel, mängd släckmedel och klass. Släckare finns med de flesta typer av släckmedel utom vissa av de gasformiga. Utformningen är standardiserad och de flesta av nedanstående specifikationer kring utformning och provning är hämtade från SS-EN 3, 1996.

Handbrandsläckare finns som tryckladdade eller icke tryckladdade. Tryckladdade släckare har trycksatts i samband med fyllningen. De har ofta en tryckmätare som indikerar trycknivån. Tryckladdade släckare är vanligast och är de enda tänkbara för gasformiga släckmedel. Släckare med pulver och vätskebaserade släckmedel kan fås som icke tryckladdade. De har en liten behållare med drivgas inne i släckaren. Den öppnas i samband med aktiveringen. Drivgasen kan bestå av till exempel koldioxid eller kvävgas. För skumsläckare kan en icke tryckladdad släckare ha skumvätskan och vattnet i skilda behållare. Vid trycksättning töms skumvätskan och blandas i vattnet. Fördelen med detta är att lagringstiden för skummet förlängs.

Släckarens reglerventil består normalt av ett klämgrepp eller en fingeravtryckare. Klämgrepp är vanligast på tryckladdade släckare och används alltid för gasformiga släckmedel. Icke tryckladdade släckare har en slagknapp, som gör så att membranet till drivgasflaskan punkteras och släckaren aktiveras. Därefter används klämgrepp eller fingeravtryckare för att reglera flödet.

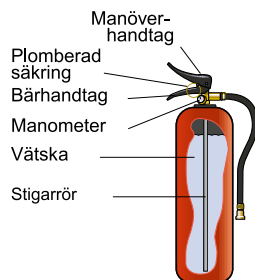
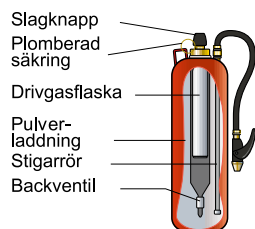
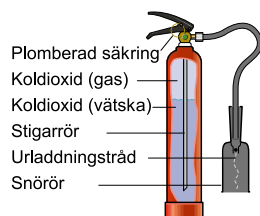
För att undvika oavsiktlig aktivering har släckaren en säkringsanordning. Säkringsanordningen ska lätt kunna avlägsnas utan hjälpmedel, på ett sätt som skiljer sig från utlösningen av släckaren. En plombering som kan utgöras av en tunn tråd eller liknande, talar om ifall släckaren har varit använd.

Storleken på handbrandsläckare anges normalt som mängden släckmedel. Pulversläckare finns normalt i storlekarna 2, 6, 9 och 12 kg. Koldioxid finns normalt med 2 och 5 kg släckmedel. Släckare med halon är av miljöskäl sällsynta. Vattenbaserade släckare och skumsläckare förekommer med 2, 3, 6 respektive 9 l släckmedel.

Olika typ av släckmedel ger något olika utformning av släckaren. Koldioxidsläckarens behållare skiljer sig mest från de övriga, då den är konstruerad för betydligt högre tryck än de andra. Andra detaljer skiljer sig också åt, munstycket till exempel. Skumsläckarens munstycke är ofta utformat som ett litet duschmunstycke och koldioxidsläckaren har ett snörör.

Snabb utströmning av ämnen som är dåligt elektriskt ledande kan ge en statisk uppladdning som inte utjämnas. Det kan förekomma hos pulversläckare men är välkänt för koldioxidsläckare som har en urladdningstråd i munstycket (Butterworth, 1981). Försöker man inertera ett slutet utrymme med brännbar gas med hjälp av en koldioxidsläckare är risken att blandningen i stället antänds.

För att släckaren ska hinna användas innan den tömts, finns en minsta tömningstid reglerad. Normalt är dock tömnings-tiderna mycket längre än dessa, i storleksordningen en halv minut för de större släckarna. En släckare av god kvalitet bör ha ett så jämnt flöde av släckmedel som möjligt och en lång effektiv funktionstid.



1.15 Tryckladdad skumsläckare, ej tryckladdad pulversläckare samt kolsyresläckare i genomskärning.

Klassindelning av bränder

Olika egenskaper hos olika bränslen gör att det krävs olika släckmedel vid olika bränder. Bränder kan därför delas in i olika klasser, beroende på bränslets egenskaper. De klasser som används i SS-EN3 är A, B, C och D.

Till klass A hör bränder i fasta material, i huvudsak organiska ämnen, till exempel trä, textil, papper och många plastmaterial. Dessa material kännetecknas av att de normalt förbränns så att de bildar glöd. De brinner alltså normalt med både flammor och glöd.

Klass B omfattar bränder i vätskor och fasta ämnen som kan anta vätskeform. Typexempel är olja, bensin och alkohol, dvs. ämnen som brinner med flammor, men utan glöd. Bränslets yta blir aldrig varmare än kokpunkten för bränslet.

Klass C berör gasbränder, exempelvis bränder i propan och naturgas. Även dessa brinner med flamma men utan glöd. Hos de gasformiga bränslena saknas kopplingen mellan förbränning och förångning av bränslet. Detta är en viktig skillnad mot klass A och B.

Klass D är en grupp som innefattar bränder i metaller och metallegeringar. Mest kända bränslen i denna grupp är magnesium, aluminium, natrium och kalium.

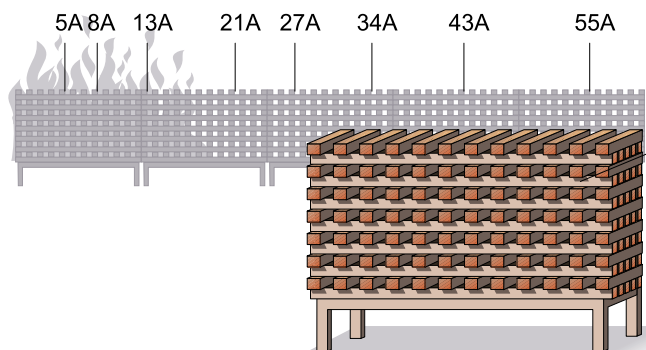
Historiskt särskildes bränder i elektrisk utrustning genom klass E. Enligt normen SS-EN3 anges i stället i klartext om en släckare kan användas mot elektrisk utrustning. I många fall är brandorsaken elektrisk och då kan bränder i tv-apparater, datorer och liknande bli lättare att hantera om strömmen bryts, vilket innebär att branden i de flesta fall hamnar i klass A i stället.

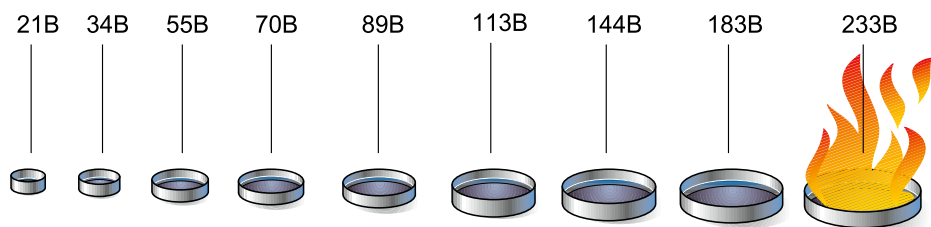
Bränder i överhettat fett beter sig inte som klass B-bränder och därför har klass F börjat användas för fettbränder.



1.16 Symbolerna för de tre vanligaste klasserna av bränder.

1.17 Provbål för test av handbrandsläckare vid klass A-brand. Provbål för klass A-bränder finns med 5, 8, 13, 21, 27, 34, 43 och 55 dm längd. Med ett par undantag utgör storlekarna summan av de två föregående.





Hur olika material brinner är viktigt att ha i minnet. Ett släckmedel som endast verkar i gasfas ger dåligt skydd mot återantändning vid en klass B-brand. Orsaken är att det i stort sett alltid finns en brännbar blandning av bränsleångor och luft ovanför bränsleytan. På motsvarande sätt klarar inte ett släckmedel som endast ger ytverkan att släcka en klass C-brand.

1.18 Provbål för test av handbrandsläckare vid klass B-brand. Provbål finns där kvadraten på radien är 21, 34, 55, 70, 89, 113, 144, 183 och 233 dm². Multipliceras dessa värden med pi fås bålens storlek i dm².

Klassindelning av handbrandsläckare

Handbrandsläckare klassas enligt SS-EN 3, 1996, med beteckningar som är i stort sett obegripliga för den oinvigde. Klassningen bygger på hur stora provbränder som släckaren klarar av.

Handbrandsläckares klassning för A-bränder, alltså bränder i fasta material, sker genom släckning av en specificerad träribbstapel. Stapeln består av 14 lager virke med 39 mm kvadratisk tvärsnitt. Stapelns bredd är 5 dm och klassen ger längden i dm. Ett provbål 13A är alltså 13 dm långt. Träribbstapeln används underifrån av ett heptanbål som får brinna en specificerad tid. Släckaren klassas sedan efter om operatören klarar att släcka bålet inom fem minuter (sju minuter för bål 27A och större). Efter släckningen får inga flammor synas inom tre minuter. Resultaten från testmetoden är tyvärr operatörsberoende och varierar alltså med vem som utför testen.

Klassning för B-bränder, bränder med bränslet i vätskeform, görs enligt samma standard genom släckning av ett cirkulärt vätskebål av ca 20 mm heptan på en vattenbädd. Heptan är en opolär vätska. Det är därför inte säkert att en skumsläckare provad enligt klass B klarar att släcka bränder i alkohol eller andra polära vätskor. Provbålets nummer anger bålens radie, med enheten dm, i kvadrat. Bål 70B är alltså cirkulärt med radien 8,4 dm och ytan 220 dm², eller drygt två kvadratmeter. Bålet släcks manuellt på motsvarande sätt som för A-bränderna och är därmed också operatörsberoende.

För C-bränder saknas effektklasser för testning av handbrand-släckare.

Handbrandsläckare med vattenbaserade släckmedel testas för användning mot brand i elektrisk utrustning. Om släckaren inte klarar kravet ska detta anges på släckaren. Elektrisk ledningsförmåga mäts genom att strålen från släckaren riktas mot en strömförande plåt och strömmen genom strålen mäts.

Handbrandsläckare med pulver testas även så att inte pulvret skakas ihop och gör släckaren obrukbar. För den tekniska utformningen finns också ett antal krav, exempelvis beträffande frost- och korrosionsbeständighet, kraft för utlösning, kraft för frigörande av säkringsanordning, mekanisk motståndskraft, precision i tryckindikering m.m. Se SS-EN 3, 1996.

En standard för klassning av F-släckare bygger på ett provbål med cirka 15 cm djup med upphettad olja, där mängden fett i liter anger klassen. 5F motsvarar en kastrull med diametern 30 cm. Klasserna 25F, 40F och 75F testas mot rektangulära bål där det största är 100 cm gånger 50 cm (Brandklass F, 2019).

1.19 Tabellen anger de minsta bål som släckare bör testas mot, för att undvika att odugliga släckare blir klassade. En släckare av god kvalitet bör dock klara betydligt högre klass. En 6 kg pulversläckare kan exempelvis klara klasserna 43A och 233B.

Släckmedel	Mängd [kg] eller [l]	A-bål	B-bål
Pulver	1	5A*	21B
Pulver	2	8A*	34B
Pulver	3	13A*	55B
Pulver	4	13A*	70B
Pulver	6	21A*	113B
Pulver	9	27A*	144B
Pulver	12	43A*	233B
Vatten/skum	2	5A	34B
Vatten/skum	3	5A	55B
Vatten/skum	6	8A	113B
Vatten/skum	9	13A	183B
Koldioxid	2	–	21B
Koldioxid	5	–	55B

* gäller endast pulver klassat för A-brand

Vatten

Vatten har egenskaper som gör att det blivit ett dominerande släckmedel, oavsett om brandsläckningen sköts av privatpersoner, av räddningstjänsten eller av ett aktivt släcksystem. Inget annat släckmedel förekommer i så riklig mängd eller till så lågt pris som vatten. Det är lätt att transportera och applicera på branden och dess förångning ger vattnet goda släckegenskaper.

Hur vatten beter sig i räddningstjänstssammanhang beskrivs av Herterich (1960) och för en mer allmän beskrivning av vatten är det bara att söka på nätet.

Fysikaliska egenskaper

Vatten har i brandsläckningssammanhang intressanta fysikaliska egenskaper. Både fryspunkt och kokpunkt ligger så att det förekommer naturligt i fast-, flytande- och gasform. Ångbildningsvärmets är högt, 2 260 kJ/kg, och en utmaning vid släckinsatser är att utnyttja detta på bästa sätt. Ytspänningen, 73 mN/m mellan vatten vid 18 °C och luft, blir intressant när tillsatsmedel diskuteras.

Fryspunkt	0 °C
Kokpunkt	100 °C
Värmekapacitet hos vätska vid 15 °C	4,18 kJ/kg K
Värmekapacitet hos gas vid 700 °C	2,01 kJ/kg K
Värmekapacitet för is	2,09 kJ/kg K
Smältvärme	334 kJ/kg
Ångbildningsvärme	2260 kJ/kg
Ytspänning vid 18 °C (vätska-luft)	73 mN/m

2.1 Vattens viktigaste fysikaliska egenskaper.

2.2 Vissa av egenskaper-
na varierar med tempe-
raturen. Densitet: CRC
(1986) sid. F-10, Övrigt:
Vennard & Street (1982)

Temperatur [°C]	Densitet [kg/m³]	Dynamisk viskositet [Ns/m²]	Kinematisk viskositet [m²/s]	Ångtryck [kPa]
0	999,87	$1,78 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,61
5	999,99	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,518 \cdot 10^{-6}$	0,87
10	999,73	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	1,23
15	999,13	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	1,70
20	998,23	$1,002 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	2,34
25	997,07	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	3,17
30	995,67	$0,798 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	4,24
40	992,24	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	7,38
50	988,07	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	12,33
60	983,24	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	19,92
70	977,81	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	31,16
80	971,83	$0,352 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	47,34
90	965,34	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	70,10
100	958,38	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	101,33

Tryck

Tryck mäts antingen som ett absolut tryck eller som en tryckskillnad gentemot ett referenstryck, normalt omgivningens. Detta görs på samma sätt som temperaturen kan mätas; antingen som en absolut temperatur i Kelvin, eller jämfört med vattnets fryspunkt, i Celsius.

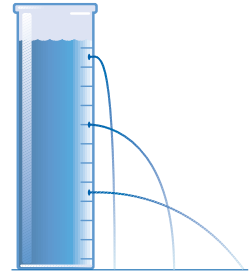
Inom brandvattenförsörjningen används nästan uteslutande det relativa trycket. Det talar om hur mycket högre eller lägre trycket är gentemot omgivningen. Tryckmätare är då kalibrerade för att visa noll vid normalt lufttryck. Om det finns risk för oklarheter brukar enheten ange om det är övertryck eller absolut tryck som avses.

1 Pa motsvarar trycket mot bordsytan från ett skrivpapper. Atmosfärstrycket är 0,101 MPa. Det motsvarar trycket från en tiometers vattenpelare.

Trycket verkar i alla riktningar, vilket kan illustreras med hjälp av en brandslang. Om trycket höjs kommer flödet att öka vilket beror på att trycket har ökat i slangens längdriktning. Dessutom blir slangen hårdare. Trycket verkar alltså även i tvärriktningen.

Om två kärl har olika form, men samma vätskehöjd, kommer de att innehålla olika mängd vätska och därmed ha olika massa. Trycket vid botten av de två kärlen kommer dock att vara lika eftersom vätskenivån är densamma, vilket brukar kallas för den hydrostatiska paradoxen.

Om ett 1 m långt stående rör med 0,01 m² tvärsnittsytta förses med botten och fylls med vatten, kommer det att innehålla 10 kg vatten. Vattnet verkar på botten med kraften 9,81 N/kg · 10 kg = 98,1 N. Denna kraft verkar på hela botten som därmed utsätts för trycket 9810 N/m², eller 9810 Pa då tryck är kraft per ytenhet. Räknar vi istället på en 1 m djup, 100 m² simbassäng, blir kraften mot botten 981000 N. Å andra sidan fördelas denna kraft över hela botten, vilket innebär att trycket blir lika, 9810 Pa. Trycket på ett visst djup under en fri vattenyta är med andra ord lika oavsett om det handlar om en sjö, ett rör eller en vattentank.



2.3 Ju större avstånd mellan vattenyta och håll, desto högre blir trycket och desto mer vatten rinner ut.

Kompressabilitet

Vätskor är normalt inkompressibla, till skillnad från gaser. Om en vätska utsätts för ett ökat tryck, förblir volymen i stort sett oförändrad. Detta kan utnyttjas inom hydrauliken. Vid brandvattenberäkningar kan förutsättas att densiteten hos vattnet är lika oavsett tryck. Därmed blir också volymflödet konstant igenom hela slangsystemet. Det vatten som tas in i ena änden kommer ut i den andra.

Densitet

Densiteten är ett ämnes massa per volymsenhet. Den kan uttryckas som

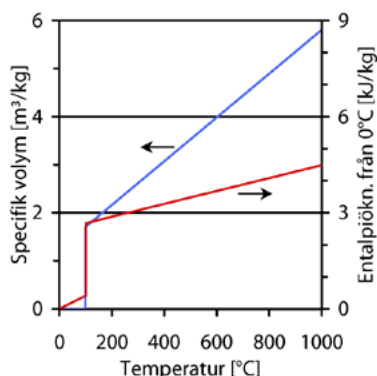
$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ [kg/m³] densitet
 m [kg] massa
 V [m³] volym

Densiteten varierar något med temperaturen. Vid 3,98 °C är vattnet som tyngst, 1 000 kg/m³. Vid rumstemperatur har densiteten sjunkit till 998 kg/m³ och vid 100 °C till 958 kg/m³ (CRC, 1996 F-4). Densiteten påverkas också av ämnets sammansättning. Saltinblandningen i havsvatten gör densiteten något högre än för sötvatten. Vid beräkningar är skillnader i vattnets densitet normalt försumbara.

Att densiteten är som högst vid 4 °C innebär att volymen hos en viss mängd vatten är som minst vid 4 °C och att volymen ökar om temperaturen sjunker. När vattnet fryser ökar volymen

2.4 Hur vattnets energi- innehåll och volym va- rierar med temperaturen är två viktiga fysikaliska egenskaper i brand- släckningssammanhang.



ytterligare. Då vatten varken är kompressibelt i flytande eller fast form, kommer trycket att öka. Vatten som blir kvar i en brandslang kommer därmed att töja ut slangens något. Blir vattnet kvar i en pump, kommer denna att sprängas när vattnet fryser, då metallen inte är elastisk. På samma sätt sprängs en bilkylare utan glykol när det fryser, liksom en fylld glasflaska som läggs in i frysen.

Viskositet

När vatten strömmar i en slang, är hastigheten högst i mitten och avtar utåt sidorna. Närmast slangens sida står vattnet stilla. Olika vätskor är olika trögflytande och ger då olika hastighetsprofil i slang. Viskositet kallas måttet på detta motstånd mot formförändring.

Det finns två olika sorters viskositet. Den dynamiska viskositeten anger det dynamiska sambandet mellan kraften som påverkar en vätska och den rörelse kraften ger upphov till. Den kinematiska viskositeten är den dynamiska viskositeten i relation till ämnets densitet.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν [m²/s] kinematisk viskositet

μ [Ns/m²] dynamisk viskositet

ρ [kg/m³] densitet

Hydraulik

Vid de flesta insatser är vattenförsörjningen inte något problem. Det finns dock två huvudsituationer där problem med vattenförsörjningen uppstår. Den ena situationen är vid gårds- och

industribränder där vattenvolymen är begränsad. Slår man hårt mot branden i inledningsskedet går det åt mycket vatten. Det finns då risk att vattnet tar slut innan ett kontinuerligt vattenflöde har ordnats. Den andra situationen är vid skogsbränder där slangsystemet snabbt blir överskådligt och där för många strålrör, för långa enkelledningar och för få pumpar innebär att strålrör kan bli utan vatten.

Vattentransport i slangsystem ingår i begreppet hydraulik som är ett etablerat ingenjörsområde. Det innebär att det finns ett antal läroböcker inom ämnesområdet. Det är inte endast räddningstjänsten som har intresse av att veta hur strömmande ämnen beter sig. Se t.ex. Vennard & Street (1982), Featherstone & Nalluri (1995), Titus (1995).

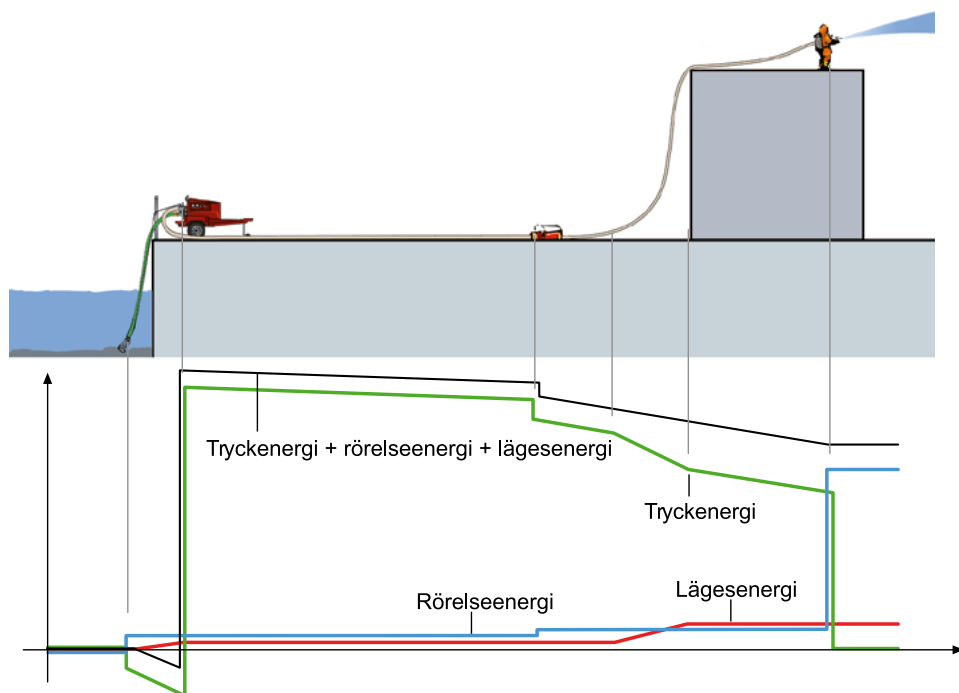
En stor del av problemen kring vattenflöden och tryck kan undvikas genom användning av tryck- och/eller flödesmätare. Med en flödesmätare installerad vid pumpen kan pumpskötaren ställa in trycket så att önskat flöde fås i det strålrör som används. Om flödet är rätt, är också munstyckstrycket det rätta.

En tryckmätare är enkel att hantera. Det går därför utmärkt att undersöka tryckförluster experimentellt. Små förluster fås i en slang som är slät på insidan, så kort och grov som möjligt och vid små vattenflöden. Stora förluster fås å andra sidan i en slang som är skrovlig på insidan, som är lång och smal och och vid stora vattenflöden.

Samband mellan tryck, rörelse- och lägesenergi

En stor del av hydrauliken bygger på konstaterandet att energi och materia är oförstörbara. Det innebär att summan av energi och summan av materien alltid är konstant i ett system. Att summan av materien är konstant innebär att lika mycket vatten som strömmar in i en slang, kommer ut i andra änden. Inom hydrauliska beräkningar förekommer energi oftast i form av antingen tryck, rörelse eller läge. De tre energiformerna kan alla formuleras med samma enhet, Pascal.

Tryckenergi:	p
Rörelseenergi:	$\frac{\rho v^2}{2}$
Lägesenergi:	$\rho g z$



2.5 Energiliner kan illustrera sambandet mellan olika energiformer.

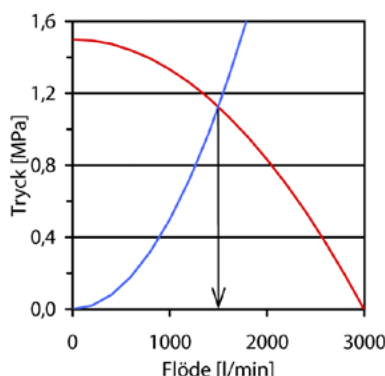
På 1700-talet konstaterade Bernoulli att summan av tryckenergi, rörelseenergi och lägesenergi är konstant för en strömmande ideal vätska som inte utför något mekaniskt arbete eller ändrar sin temperatur.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g z = K$$

p	[Pa] tryck
ρ	[kg/m ³] densitet
g	[m/s ² eller N/kg] gravitations konstant, 9,81
v	[m/s] hastighet
z	[m] höjd
K	[Pa] energimängd

Sambandet gäller för alla punkter i ett rör- eller slangsystem. Energin kan alltså inte försvinna, men väl omvandlas mellan olika former. Det finns andra energiformer också, exempelvis värme eller kemiskt lagrad energi. Eftersom vattnet har i stort sett samma temperatur och samma kemiska sammansättning i hela slangsystemet, blir dessa former av energi oftast konstanta i brandvattensammanhang.

I verkligheten uppkommer strömningsförluster och en liten mängd energi omvandlas till värme. Energiinnehållet i punkt 1 i ett system blir då lika med energiinnehållet i punkt 2.



2.6 Genom att summera förluster i slang och strålrör fås en systemkurva (blå). Den skär pumpkurvan (röd) vid det verkliga flödet i systemet.

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g z_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g z_2 + p_f$$

p_f [Pa] tryckförlust

Flödet i en brandslang bestäms av hur stora tryckförluster som finns i systemet. I alla ledningar där vätskor flödar, uppkommer strömningsförluster, vilket innebär att tryckenergi omvandlas till värme. Tryckförlusternas storlek styrs exempelvis av slangens längd och diameter samt hur slät dess insida är. Det finns också lokala förluster, exempelvis kopplingar, ventiler och veck på slangen. Alla förlusterna ökar dessutom kraftigt med ökande flöde i slangen.

Det går att rita upp ett diagram över hur stort tryck en pump orkar ge vid olika flöden. På motsvarande sätt kan ett diagram över de sammanlagda tryckförlusterna i ett slangsystem vid olika flöden ritas. Jämvikt ställer alltid in sig där de båda kurvorna skär varandra.

Energi som höjd

Genom att dela varje term med vätskans densitet och gravitationskonstanten, fås energin uttryckt som en höjd i meter. Summan av tryckenergi, rörelseenergi och lägesenergi är fortfarande konstant, men är här uttryckt i meter.

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = H \quad H [\text{m}] \text{ energimängd}$$

Detta är bakgrunden till tryckenheterna mmHg (millimeter kvicksilver) och mvp (meter vattenpelare). Energiformerna kan också benämnas tryckhöjd, rörelsehöjd och geometrisk höjd.

Vattennät och brandposter

Allt vatten som används vid brandsläckning finns lagrat i någon form av behållare. Det kan till exempel vara lagrat i ett öppet vattendrag, i kommunens vattentorn, i en sprinklerbassäng, i en branddamm, i räddningstjänstens tankbil eller i en handbrandsläckare. Från behållaren finns ett system av rör och slangar som för vattnet till önskad plats. Information om vattenreservoarer och brandposter, med andra ord information om de ställen där räddningstjänsten kan hämta sitt brandvatten, bör finnas väl dokumenterat och tillgängligt inom räddningstjänsten. Samtidigt innehåller vattennätet livsmedel vilket gör att brandposter och vattentag ska vara låsta.

Kommunens ledningsnät för dricksvatten består av huvudledningar, distributionsledningar och servisledningar. Huvudledningarna går från vattenverk och vattenreservoarer ut till stadsdelar, bostads- och industriområden. Distributionsledningarna fördelar vattnet till abonnenterna. Servisledningar går den sista biten från distributionsledningen in till respektive fastighet. Precis som för brandslang är ledningens dimension avgörande för dess kapacitet.

Vattennätets centrala del är oftast uppbyggt som ett cirkulationssystem, där det mellan två olika punkter i systemet finns minst två vägar. I utkanterna av nätet övergår systemet ofta till ett förgreningssystem. Ett förgreningssystem är uppbyggt med en trädstruktur, där varje punkt i systemet matas endast från ett håll. Även om vattnet kan flöda åt olika håll finns alltid en huvudflödesriktning. Om denna ändras, eller om flödet ändras kraftigt, kan avlagringar eller biofilmen av goda bakterier på rörets insida dras loss. Då blir vattnet brunfärgat och ledningarna måste spolas rena.

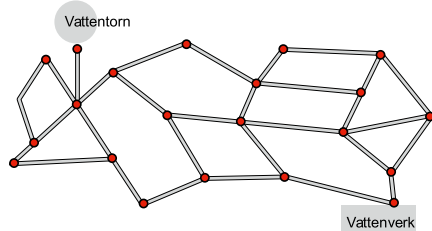
Sprinklersystem har en likartad uppbyggnad, med ett rör-system som grenar ut sig i en trädstruktur. För att kunna ha så små rördimensioner som möjligt och därmed minska installationskostnaden kopplas rörens ändrar ofta ihop, i en loopstruktur.

Även brandslangar kan dras med antingen träd-, linje- eller loopstruktur. Trädsystemet används när vattnet tas från ett håll och när många strålrör används. För att få samma munstyckstryck vid alla strålrör är det en fördel om systemet är symmetriskt, dvs. att alla strålrör som försörjs av samma

pump är av samma sort och att lika lång slang används till alla. En linjestruktur bildas när vattnet från en källa används för att försörja ett fåtal strålrör. Allteftersom branden bekämpas kan systemet förlängas genom att matarslang läggs till och manöverslang flyttas framåt. Loopstrukturen innebär att en slangledning läggs i en slinga runt branden. Då spelar det mindre roll var manöverslangarna eller vattenförsörjningen kopplas till slingan. Säkerheten i systemet ökas om slangen kopplas ihop så att matning kan ske från mer än ett håll, antingen genom korsmatning eller genom en slinga.

Skillnaderna mellan cirkulationssystem och förgrenings-system är med andra ord i princip samma oavsett om vi studerar kommunens brandpostnät, ett sprinklersystem eller räddningstjänstens slangsystem. Ofta är systemen utformade som en kombination av cirkulations- och förgreningssystem. Detta gäller både kommunala vattennät, sprinklersystem och brandslangsystem.

Cirkulationssystem



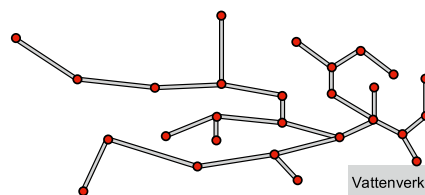
Vid skada på ledningen eller på någon komponent kan en del av systemet stängas av utan att vattentillförseln bryts i resten av systemet.

Vattnet kan vid behov hållas cirkulerande i systemet även om inget vatten tas ut.

Då flödet fördelas på flera ledningar blir kapaciteten större.

Överskådligheten minskar och det är svårt att veta hur flöden och tryck fördelar sig i systemet.

Förgreningssystem



Vid skada på ledningen eller någon komponent påverkas hela systemet nedströms.

Vatten kan bli stillastående i ledningarna.

Systemet är överskådligt och det går att bedöma tryck och flöden.

2.7 Olika typer av system för distribution av vatten har olika för- och nackdelar.

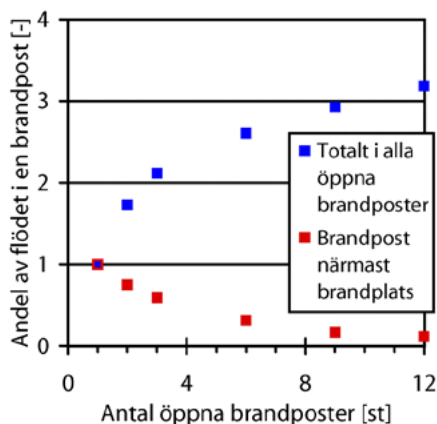
Brandposter

Det vanligaste sättet för räddningstjänsten att säkerställa kontinuerlig vattentillgång är att ansluta till kommunens vatten nät. För att klargöra tillgången till vatten är vattenkartan ett ovärderligt hjälpmedel som bör finnas i varje brandbil. Den ger besked om var närmaste brandpost finns och brandpostens tryck och kapacitet, gärna under hög- och lågförbrukningstid. Om inte mer exakta data finns tillgängliga, kan en klassificering vara till stor hjälp, exempelvis klass A för brandposter med ett flöde större än 900 l/min och klass B för brandposter med mindre flöden. Av kartan går också att läsa ut var nästa brandpost finns, ifall den första inte fungerar eller räcker till, och hur ledningarna går, om det behövs så mycket vatten att en annan matarledning behöver användas.

Det är dock viktigt att veta att det angivna flödet fås under förutsättning att övriga brandposter är stängda. Om den närmaste brandposten är öppen och den näst närmaste också öppnas, kommer inte flödet att dubblas. I praktiken kommer endast totalflödet att öka drygt 50 % med den andra brandposten. Den tredje närmaste brandposten ger ett ännu mindre tillskott. Samtidigt kommer flödet att minska i den först angjorda brandposten. (Nyberg, 1978)

Även om det vid framkomst inte märks någon brand, bör ansvarig för brandvattenförsörjningen förbereda sig genom att ta reda på var närmaste brandpost finns.

2.8 Vid inkoppling av flera brandposter minskar den ytterligare mängden vatten som går att få ut. Beräkningsexempel bygger på friflödande brandposter utan brandposthuvud. I verkligheten blir förändringen i flöde inte lika drastisk om ytterligare brandposter öppnas.



Det gäller att alla vattenkällor finns med på vattenkartan. Eftersom det är okänt var nästa storbrand inträffar, bör både kommunens brandpostnät, industrinät och öppna vattentag finnas med. Det är alltså inte endast en brandpostkarta som behövs.

Många brandposter har en kapacitet om mellan 1 500 och 2 500 l/min. I utkanten av nätet, exempelvis i bostadsområden, kan kapaciteten vara väsentligt lägre, ner mot 600 l/min. Detta gäller i synnerhet så kallade spolposter, som används för att spola rent ledningsnätet och därför är placerade längst ut i nätet. Där är oftast ledningens dimension endast 50 mm.

På andra ställen, exempelvis vid raffinaderier, kan det finnas superbrandposter med extremt höga vattenflöden. För att kunna få ut så stora vattenmängder ur kommunens nät krävs att servisleddningen är ansluten till en huvudledning med minst 200 mm dimension, att kommunens högreservoar har tillräcklig volym och att vattenverket har tillräcklig kapacitet för att kunna leverera stora mängder vatten under längre tid (VAV P76, 1997). Saknas dessa förutsättningar kan särskilda fasta brandvattennät ordnas, som tar vatten direkt från öppet vattentag. Tillförlitligheten i sådana system minskar dock i och med att de inte används till vardags.

Trycket i brandposten varierar också. 0,7 MPa är ett normalt högsta arbetstryck. Vid höga vattenuttag sjunker trycket, ibland till så lågt som 0,15 MPa tryck.

Vid industrianläggningar är det inte ovanligt att företagen ordnar egna brandvattensystem inom fastigheten. Ibland ingår detta som ett krav från kommunen för att tillåta en etablering. Systemen kan vara av olika typ, men oavsett hur de är uppbyggda är det viktigt att räddningstjänsten tar reda på hur systemen är uppbyggda och vad som krävs för att få ut vatten. Vattenbehovet vid en släckinsats är ofta större än vid normal drift. Därför kan det finnas en förbigångskoppling förbi vattenmätaren som minskar strömningsförlusterna och ökar kapaciteten. Det är räddningstjänstens uppgift att öppna denna ventil om brandposterna på industriområdet ska användas samt se till att den stängs och plomberas efter avslutad insats. Brandposter placeras helst omedelbart bredvid en väg, gärna i en trottoar och nära en gatukorsning. Då är den ur vägen och



2.9 I Sverige används samma brandposthuvud till alla brandposter. I andra länder, Island exempelvis, används fasta brandposthuvuden med olika storlek beroende på kapaciteten. Då syns om det går att få ut mycket eller lite vatten ur brandposten, vilket inte är möjligt i Sverige.



2.10 Angjord brandpost.

hindrar inte trafiken vid användning. Samtidigt är den fullt tillgänglig, både om den används för fyllning av tankbil som då kan tillämpa rundkörning och om slang dras direkt från brandpost till brandplats.

Brandposters läge anges i de flesta kommuner med en brandpostflagga eller skylt 2,2 m över markplanet, högst tio meter från brandposten (VAV P76, 1997). På skylten är angivet riktning och avstånd till brandposten. Med utgångspunkt från denna information går det att mäta sig fram till var locket finns, om den skulle råka vara täckt. Brandpostnyckeln kan användas som måttstock. En nyckel är normalt 1,2 m lång, med en markering på 1,0 m samt med ett 0,5 m handtag. Genom att knacka med brandpostnyckeln i marken, kan man med hjälp av ljudet lokalisera brandpostens lock.

Normalt står vatten i brandposter. Detta måste spolas ur innan brandposten kan användas. När allt missfärgat vatten spolats bort, kan brandposthuvudet monteras.

Angöring av markbrandpost:

1. Bänd bort gjutjärnslocket med piken på brandpostnyckeln.
2. Öppna bottenventilen så att vattnet börjar strömma. Spola ordentligt tills det kommer friskt vatten.
3. Stäng bottenventilen och montera brandposthuvudet. För brandposthuvud med skruvfattning, kan brandpostnyckeln läggas mellan ventilerne på brandposthuvudet och försiktigt användas som hävstång.
4. Med stängda ventiler på brandposthuvudet öppnas bottenventilen helt och stängs sedan ett kvarts varv. Brandposten är nu trycksatt och klar att användas. Brandpostnyckeln lämnas kvar om brandposten behöver stängas.

Fattningen på brandposten är olika i olika kommuner, antingen skruvkoppling, klokoppling eller ögonblickskoppling. För brandposthuvud med skruvkoppling finns övergångskopplingar för att passa till kommunens brandposter.

Brandposthuvudet består av ett ståndrör med två grovslanguttag med var sin skruvventil. Normalt är de gjutna i lättmetall. För att ge bäst kapacitet kopplas slang till båda uttagen. Eftersom vattennätet innehåller livsmedel bör brandposthuvudet ha en backventil.

Brandposten kan vara mjukstängande eller hårdstängande. Vid stängning drar man därför åt endast tills vattnet slutar att strömma. Annars kan man dra sönder ventilen.

Är den självdränerande rinner vattnet undan. Blir vatten stående måste den länsas innan täcklocket läggs på plats. Annars kan kvarstående vatten göra så att brandposten fryser sönder, men det märks tyvärr först vid nästa användningstillfälle.

En undersökning påvisade problem med brandposten så ofta som i 8 % av de fall där vatten använts vid räddningsinsats vid brand i byggnad (Frindberg, 2012).

I de delar av landet där brandposterna riskerar att frysa, kan det vara lämpligt att placera dem väggmonterat och/eller med uppvärmningsanordning. Tillgänglighet och vattenledningars läge kan också vara skäl till väggmontering av brandposter, exempelvis vid industrier.



2.11 Brandposthuvud och -nyckel.

Dra bara åt tills vattnet slutat strömma, så drar du inte sönder mjukstängande brandposter.

Till en väggmonterad brandpost behövs inget brandposthuvud. Den är färdig för inkoppling av matarslang. Dock behövs en särskild nyckel för att öppna väggskåpet.

Tillsyn av brandpost kan enligt VAV P76 (1997) innebära:

1. *Kontroll av åtkomlighet, utmärkning och lägesanvisning.*
2. *Kontroll av lock och armatur.*
3. *Kontroll av öppnings- och stängningsventil.*
4. *Kontroll av att läckage inte förekommer.*
5. *Kontroll av dränering och eventuellt länshål.*
6. *Länspumpning vid behov.*
7. *Vintertid kontrolleras även snöröjning och eventuell uppvärmningsanordning.*

Konventionellt system och alternativsystem

Det konventionella systemet innebär att vatten tas via slang och tryckhöjande pump direkt från brandpost. Avståndet mellan brandposterna bör med detta system vara högst 100 m, men för en- och tvåfamiljshusområden kan avståndet ökas till 150 m. Dimensioneringen av ett konventionellt system bygger på att räddningstjänsten inte medför vatten till brandplatsen i någon nämnvärd omfattning.

2.12 *Brandvattenbehov vid konventionellt system (VAV P38, 1979).*

	Typ av bebyggelse	Rekommenderat flöde [l/min]
Bostadsområden m.m inklusive serviceanläggningar	Villor, rad- och kedjehus samt flerfamiljshus < 4 våningar	600
– " –	Annan bostadsbebyggelse	1 200
Industriområden och ur brandsynpunkt likvärdiga områden	Brandsäkra byggnader utan upplag av brännbart material	600
– " –	Brandsäkra byggnader utan större upplag av brännbart material	1 200
– " –	Hög brandbelastning, t.ex. snickerier och brädgårdar	2 400
– " –	Exceptionell brandbelastning, t.ex. oljehanteringsanläggningar	>2 400



Alternativsystemet innebär att de tankbilar som finns vid räddningstjänsten i de flesta kommuner tas med i dimensioneringen. Med tankbil(ar) i skytteltrafik kan samma vattenflöde upprätthållas. Om vattenförsörjningen klaras via tankbil, bör köravståndet mellan yttersta bebyggelseområdet och brandpost inte överstiga 1 000 m. Flödet bör vara minst 900 l/min. Vid specifika risk- eller skyddsobjekt bör det dock finnas brandpost i närheten. Antalet brandposter blir mycket stort med ett konventionellt system och kostnaderna för installation och underhåll är betydande (Mattsson, 1994).

Öppet vattentag

Det går ofta utmärkt att använda vattendrag i närheten av brandplatsen som vattentag, åtminstone om man vid uttryckningen har med sig en pump som kan ta vatten från öppet vattentag. Möjligheten är standard för motorsprutor men saknas ofta på släckbilar. Sjöar, åar, bäckar och dammar innehåller i allmänhet tillräckliga mängder för att utnyttja vid mindre bränder. Även simbassänger kan vara användbara i sammanhanget. Brunnar innehåller dock så små mängder vatten att de sällan är lämpliga.

2.13 Försörjning av vattenverket i Karlshamn med motorsprutor vid öppet vattentag blev en tillfällig lösning när en tankbilsolycka gjort det ordinarie vattentaget obrukbart.

Kan vatten tas från öppet vattentag bör lämpliga platser rekognoseras i förväg och markeras på vattenkartan. Om så behövs kan platser för motorsprutor iordningställas. Vid särskilda objekt kan en fast sugledning anordnas, till vilken motorsprutan kopplas.

Saltvatten är ibland det mest lättillgängliga vattnet. Släcktekniskt går det utmärkt att använda. Dock blir vattnets skadeverkningar större, vilket innebär att pumpar och slangsystem behöver sköljas ur ordentligt. Saltvatten är också skadligt för växtlighet.

Om av någon anledning vattenverket är satt ur funktion blir brandpostnätet odugligt och då måste räddningstjänsten ha beredskap för att kunna hämta släckvatten på något annat ställe.

En kombination av öppet vattentag och tankbil är det naturliga valet i de flesta fall. Det finns också hundratals krigsbranddamm runt om i landet, en resurs för det civila försvaret. Standardmodellerna är om 400 m³ med två pumpplatser för en krigsbranddamm respektive 2 500 m³ med fyra pumpplatser för en förrådsbranddamm. I båda fallen är branddammen isolerad mot frost. (CFS, 1962).

En variant av öppet vattentag är olika mobila vattenbassänger. Dessa består normalt av gummi- eller plastväv och finns i olika varianter, antingen självbärande eller med ram. Beroende på hur de ska användas finns olika storlekar som rymmer upp till tiotals kubikmeter vatten. Särskilt de självbärande, eller självresande, bassängerna blir relativt lätta och kan därmed placeras oberoende av farbara vägar och utgöra en utmärkt tillfällig vattendepå. Det enda som krävs är en horisontell och någorlunda slät yta för uppställningen.

Vattenförsörjning med tankbil

I vissa situationer står valet mellan att transportera vatten med slangledning eller med tankbil till brandplatsen. Vid ungefär 500 m mellan vatten och brand börjar det löna sig att sköta vattenförsörjningen med tankbil snarare än slangledning, dock beroende på de lokala förhållandena. Avgörande är bland annat vattenförbrukning, transportkapacitet och inte minst hur långvarig insatsen förväntas bli.



Det är viktigt att det finns möjlighet till rundkörning för fordonen som kör i skytteltrafik. Är det många fordon i omlopp krävs en god logistik, i synnerhet om vägen till brandplatsen är smal. Det kan vara aktuellt att låta polisen enkelrikta trafiken på småvägar runt brandplatsen.

Lossningen av vatten på brandplatsen kan ske med slang direkt in på brandvattennätet. Då startar brandvattensystemet med ett byxror vid lossningsplatsen, till vilket tankbilar kan anslutas växelvis. Nackdelen är framförallt att flera tankbilar krävs för att kunna ge kontinuerlig drift och att tömningstiden blir lång. En fördel är att tankbilarnas pumpar utnyttjas på brandplatsen.

Ett alternativ till att använda byxrör, är att placera en tank på brandplatsen. Tanken bör rymma hela volymen hos bilarna som kör i skytteltrafik och kan antingen utgöras av ett fordon eller av en bassäng ur vilken motorsprutor suger upp vattnet. Tanken placeras där det går att lossa vattnet, så nära brandplatsen som möjligt. Då blir transportledningen kort vilket ger små tryckförluster, och kräver liten vattenmängd för att fylla slangledningarna. Detta system ger förmodligen något säkrare vattentillgång än om byxrör används, men i båda fallen krävs en god logistik för att säkerställa vattentillförseln.

2.14 Vattenförsörjningen har i många decennier kunnat säkerställas med tankbilar som kör i skytteltrafik.

Jämfört med ett slangsystem är tanksystemet resurskrävande för situationer där stora flöden behövs under lång tid. Å andra sidan är tiden för uppstart kort, vilket innebär att branden kan angripas snabbare.

Tankbilar fungerar också som buffert på brandplatsen. Släckinsatsen kan alltså påbörjas med relativt stora flöden på kort tid innan vattenförsörjning via brandpost måste säkras.

Kapacitet hos tankbilar i skytteltrafik

Kapaciteten hos ett system där tankbil kör i skytteltrafik kan bestämmas genom att fordonets tankvolym delas med tiden det tar för fordonet att åka ett varv i transportkedjan. (Sjölin, 1977)

$$q = \frac{V}{t}$$

q [l/min] kontinuerlig transport
 V [l] tankvolym
 t [min] tid för ett varv i transportkedjan

Tiden för ett varv i transportkedjan är summan av tiderna för färden till vattentaget, angöring och fyllning, samt färden tillbaka till brandplatsen, angöring och tömning. Tiderna kan mätas i praktiken eller uppskattas.

$$t = t_{kör} + t_{ang} + \frac{V}{q_{fyll}} + t_{kör} + t_{ang} + \frac{V}{q_{töm}}$$

q_{fyll} [l/min] fyllningshastighet
 $q_{töm}$ [l/min] tömningshastighet
 $t_{kör}$ [min] körtid i ena riktningen, sträcka delat med hastighet
 t_{ang} [min] tid för upp- och nedkoppling vid lastning alt. lossning.

Beräkningen gäller per tankbil. Om flera fordon används, summeras flödena.

En tankbil med 10 000 l tank kör i skytteltrafik för att fylla upp en andra tankbil nära en brandplats. Körtiden för slingan som är 6 km blir med 40 km/h medelhastighet 9 min. Fyllningen sker vid en brandpost och tar 5 min och lossning tar 10 min. Angöringstiden är 2 minuter i vardera riktningen, 4 minuter totalt. Medelflödet blir då: $q = 10\,000 / (9 + 5 + 10 + 4) = 360$ l/min. Om båda tankbilarna används, och lossar vattnet i ett byxror, får inte mer vatten användas än att nästa tankbil hinner tillbaka innan den på brandplatsen är tom. Vattnet i varje tank måste då räcka i $9 + 5 + 4 = 18$ min och det möjliga flödet blir 550 l/min.

Vattenförsörjning till sprinklersystem

Vid dimensionering av sprinkleranläggningar används datorer för att beräkna tryckfall, ledningsdimensioner, behov av pumpar etc. I de fall kommunala ledningsnät eller tryckhöjningspumpar inte ger tillräcklig kapacitet för en sprinkleranläggning, lagras vatten i bassänger (VAV P37, 1980).

Vid insatser i vissa byggnader tas både vatten till sprinklersystem och till räddningstjänstens insats från det kommunala nätet. Då är det viktigt att veta hur mycket vatten räddningstjänsten kan ta ut utan att sprinklersystemet påverkas. Och att inte stänga av sprinklersystemet förrän man vet att branden är under kontroll.

Brandpumpar

I alla slangsystem finns flödesförluster. För att kompensera dessa energiförluster måste energi tillföras. Energi måste även tillföras för att övervinna höjdskillnaden mellan vattenreservoaren och munstycket, samt för att ge önskat tryck vid munstycket. För detta används pumpar.

Utvecklingen av kraftfulla pumpar har varit en förutsättning för en effektiv räddningstjänst. För ett och ett halvt sekel sedan konstaterade Lindgren (1864) att "Huvudsaken är en god kraftig och med vederbörliga slanglängder försedd spruta".

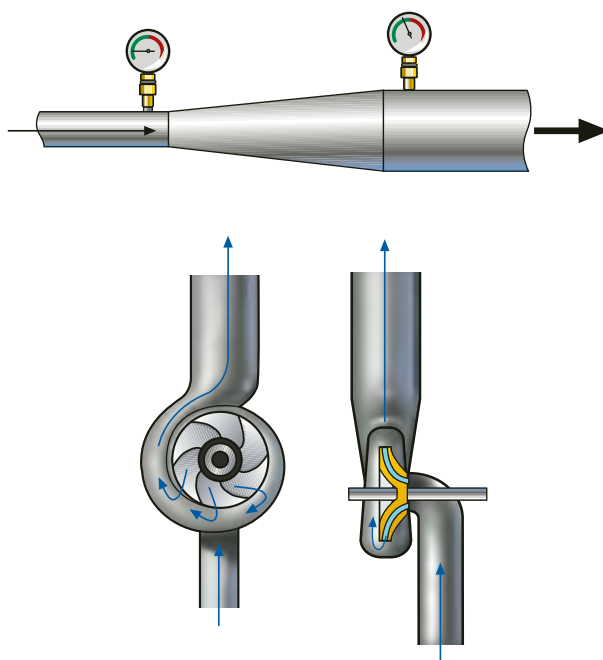
Det finns pumpar som arbetar efter flera olika principer. De första brandpumparna var av kolvtyp, vilka tillhör gruppen förträngningspumpar. De kan ge utomordentligt höga tryck, men inte särskilt höga flöden. Kolvpumpen passade utmärkt för handkraft eller tillsammans med en ångmaskin på grund av sitt fram- och tillbakagående rörelsemönster. Med moderna reglersystem har kolvpumparna återkommit i system med höga tryck, över 10 MPa (100 bar).

Sedan motoriseringen av räddningstjänsten är de flesta pumpar som används vid brandsläckning av centrifugaltyp. Denna typ av pump passar bra till el- och explosionsmotorernas roterande rörelse. Centrifugalpumpen har fördelen att strömningen inte är tvingad, utan det är en öppen förbindelse genom hela pumpen. Pumpen kan då köras mot stängd ventil och det går därmed att ha tryck vid strålröret utan att detta är öppet. (Renning, 1970)

Centrifugalpumpens två huvuddelar är pumphuset och pump-hjulet. Pumphjulet är monterat på en axel som är ansluten till en motor via en koppling. Då pumphjulet snurrar, pressas vattnet utåt och ett undertryck bildas mitt i pumphjulet, där tilloppsledningen placerats. Vatten kan strömma till och därmed utjämnas trycket. Löphjul är en annan benämning på pumphjulet.

Runt pumphjulet sitter en ledskena, som gör att utrymmet mellan pumphjulet och pumphusets vägg långsamt ökar och styr över vattnet i en diffusor. Vattnet strömmar från ett område där hastigheten är mycket hög, ut i diffusorn som har ett större tvärsnitt. Hastigheten minskar då och rörelseenergin omvandlas till stor del till tryckenergi. Vattnet samlas ihop och leds via ett rör till tryckkuttagen.

Pumphjulets utformning avgör pumpens kapacitet. I en centrifugal- eller radialpump lämnar vattnet pumphjulet radiellt, alltså vinkelrätt mot axeln. Det ger stor tryckuppbyggnad i jämförelse med pumpar där vattnet fortsätter längs pumpaxeln



2.15 Centrifugalpumpens arbetsprincip: Hög hastighet vid lågt tryck omvandlas till låg hastighet vid högt tryck samtidigt som energin bevaras.

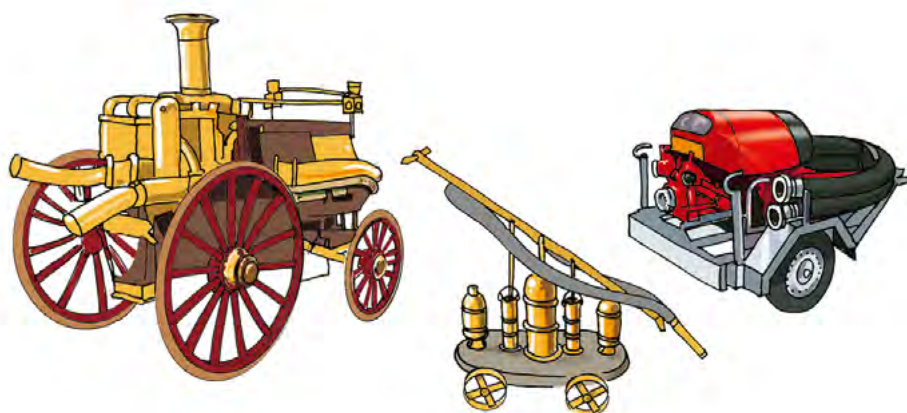
eller går diagonalt. Därför är denna typ vanligast i brandpumpar. Den goda tryckuppsbyggnaden sker på bekostnad av flödet. För att pumpen ska kunna dräneras efter användning vintertid, sitter dräneringsventiler vid lågpunkterna. En sådan punkt är längst ner i ledskenan under pumpen, väl värd att dubbelkolla om pumpen inte suger som den ska.

Vanligast inom räddningstjänsten är pumpar med endast ett pumphjul. Pumpens utgående tryck blir högre om två eller flera pumphjul placeras i följd efter varandra. En pump med två pumphjul efter varandra brukar kallas tvåstegspump. Pumphjulen kan även placeras parallellt och det finns pumpar med parallella flersteg.

En kombinerad hög- och lågtryckspump består av flera seriekopplade steg, ofta fyra stycken. Vattnet kan antingen tas ut efter det första steget med lågt tryck men högt flöde, eller efter det sista steget där trycket är högt, men flödet mindre. Högtryckspump betyder i räddningstjänstsammanhang en pump med ett utgående tryck över 2 MPa.



2.16 Som kuriosum kan nämnas att gradbeteckningarna på axelklaffarna hos brittiska brandbefäl utgörs av ett stiliserat pumphjul.



2.17 Olika mobila pumpar för brandsläckning: ångspruta respektive manuell brandspruta med kolvpump samt motorspruta med centrifugalpump.



2.18 Manöverpanel för motorspruta med bland annat manovakuummeter och manometer. Observera skylten med omräkningsfaktorer för olika tryckenheter.

Manometern visar pumpens utgående vattentryck. Manovakuummetern visar pumpens ingående vattentryck, övertryck om vattnet tas från brandpost eller annan pump och undertryck i de fall vatten tas från öppet vattentag. Om pumpen inte kan ta vatten från öppet vattentag saknas ofta manovakuummeter. Motors varvtal är ett mått på vilken belastning som motorn utsätts för. Vissa pumpar har en varvmätare där detta kan avläsas. För motorsprutor är det oftast enklast att lyssna till motorljudet.

På pumpens tilloppsledning sitter normalt ett nät som skyddar mot att större partiklar kommer in i och skadar pumpen. Om pumpen gradvis eller plötsligt börjar ge mindre vattenmängd, kan nätet vara igensatt. Detta är särskilt troligt om vatten tas från öppet vattentag.

Pumptyper

De flesta pumpar som används inom räddningstjänsten är fast monterade i fordon. Släckbilar, förr kallade bilmotorsprutor, och tankbilar är i stort sett undantagslöst utrustade med pump.

Pumpsystemets utformning styrs framförallt av möjligheterna till dragning av rör till och från pumpen och kraftöverföringen mellan motor och pump. Marknaden kan tillmötesgå beställarens önskemål med det mesta från enkla manuella pumpar till helautomatiska pumpar med hög- och lågtrycksuttag, möjlighet att ta upp vatten från öppet vattentag och inbyggd utrustning för dosering av olika tillsatsmedel, flödesmätare och övervakning av tankinnehåll, temperatur och andra viktiga funktioner.

I släckbilar är pumpen vanligen placerad mitt i fordonet, bakom motorn. Denna mitskeppsmontering innebär enkel förbindelse mellan motor och pump. Pumpen sitter skyddad, men



2.19 Bakre skåp till släckbil utrustad med traditionellt lågtryckssystem, högtryckssystem med dubbla centrumrullar, CAF-system samt utrustning för dosering av tillsatsämnen. Flödesmätare anger vattenförbrukning. En portabel förpump krävs för att kunna ta vatten från öppet vattentag.



2.20 Motorsprutor av klass 3 (till vänster) och klass 2 (till höger) enligt SS-3496, 1989.



2.21 Motorspruta klass 1.



2.22 Lättviktpump för släckning av skogsbrand.

ändå åtkomlig för service, i synnerhet om fordonet är utrustat med en fällbar hytt. Vattenuttag placeras så att rördragningen blir så kort och med så få krökar som möjligt. Pumpen styrs dock elektroniskt, vilket medger frihet i placering av uttag och styrpaneler. Mittskeppsmonterade pumpar saknar i regel sugslang och evakueringsanordning och kan därmed inte ta vatten från öppet vattentag utan kompletterande förpump.

Äldre brandbilar hade ofta frontmonterad pump vilket gav god överskådlighet och kort kraftöverföring, men samtidigt ett utsatt läge för smuts och kyla.

Lösa pumpar med egen motor, som regel en bensindriven två- eller fyrtaktsmotor, kallas för motorsprutor. Beroende på prestanda, delas de in i olika klasser. Nedanstående indelning, enligt SS 3496, 1989, kan användas. Framtida klassindelning kommer förmodligen att göras utifrån både arbetstryck och flöde.

Klass 1-pumpar är den minsta sorten, avsedda att kunna hanteras av en person. De ska kunna leverera 400 l/min vid 0,6 MPa tryck och 1,5 m sughöjd samt 120 l/min vid 0,6 MPa tryck och 7,5 m sughöjd. Vikten är högst 40 kg, sugslangen oräknad men inklusive drivmedel för en timmes drift.

Klass 2-pumpar har högre kapacitet, 1 200 l/min vid 1 MPa tryck och 3,0 m sughöjd, samt 360 l/min vid 1 MPa tryck och 7,5 m sughöjd. Totalvikten får vara högst 400 kg. Den ska dessutom kunna lyftas av transportunderredet och då väga högst 200 kg inklusive drivmedel för två timmar. De är därmed bärbara för fyra personer.

Klass 3-pumpar är den tyngsta klassen av motorsprutor. De ger minst 2 400 l/min vid 1 MPa tryck och 3,0 m sughöjd samt 720 l/min vid 1 MPa tryck och 7,5 m sughöjd.

Klass 1-pumpar kan normalt hanteras av en person. De har sitt främsta användningsområde när små mängder vatten behövs på otillgängliga platser. Klass 2- och 3-pumpar är normalt utformade som en släpvagn att bogsera efter brandbilen och kan då kallas för släpsprutor. De kan också vara monterade på ett lastväxlarflak tillsammans med en vattentank.

För speciella ändamål finns pumpar som inte faller in i detta system, exempelvis små pumpar för skogsbrandbekämpning, där låg vikt går före hög kapacitet, eller jättepumpar för cisternbrandsläckning där vikten är oväsentlig, bara kapaciteten är hög.

Användning av öppet vattentag

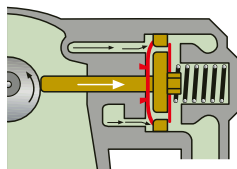
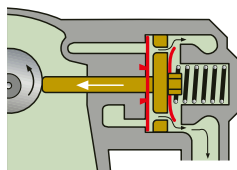
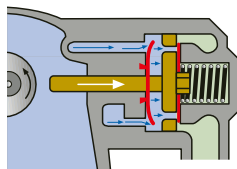
Centrifugalpumpar kan inte börja pumpa vatten om det finns luft i sugslangen, den måste vara vattenfylld. Är pumpen monterad på en vattenledning med övertryck, till exempel i en släckbil med vattentank eller en sprinklerpump på en trycksatt vattenledning, rinner vatten till automatiskt och pumpen börjar arbeta direkt.

En mindre motorspruta monterad på ett flytelement med inbyggd sugsil på undersidan kan börja arbeta direkt på samma sätt.

Fordonsmonterade pumpar saknar som regel möjlighet att ta upp vatten från öppet vattentag. De måste därför kompletteras med en dränkbar förpump, som kan drivas hydrauliskt eller elektriskt. Den vanliga brandpumpen används som drivkälla i vattenstrålpumpar eller turbincentrifugalpumpar. Där skickas lite vatten med högt tryck in i förpumpen och ut kommer mycket vatten men med lägre tryck.

Motorsprutor har en evakueringsanordning och en sugslang. Luften i slangen evakueras, varvid trycket sjunker och omgivningens tryck pressar vatten in i ledningen. Motorsprutor har vanligen en kolvpump eller membranpump för evakuering. Konstruktionen varierar, men kan bestå av en cylinder med två fjäderbelastade kolvar monterad på pumphuset. Kolvarna arbetar åt var sitt håll mot en excenter på pumpaxeln. När pumpaxeln roterar får de en fram- och tillbakagående rörelse som gör att luft

När luften sugur ett sugrör i ett dricksglas, pressar det omgivande lufttrycket upp drickan i sugröret så att man kan dricka. På samma sätt fungerar en evakueringsanordning.



2.23 Evakueringsanordning av membrantyp.

sugs ut ur pumphuset och blåser ut utanför. När så mycket luft sugits ut att vatten strömmar till och fyller sugslang och pump kan centrifugalpumpen börja arbeta. Trycket ökar då och vattentrycket pressar de fjäderbelastade kolvarna från pumpaxeln, varvid evakueringsanordningen kopplas ur. Äldre motorsprutor är ofta utrustade med en avgasejektor. Arbetsprincipen för dessa är att avgaserna som strömmar i avgasröret skapar undertryck i ett anslutande rör som är kopplat till pumphuset. För små skogsbrandspumpar räcker det med en manuell anordning, ungefär som en omvänd cykelpump.

Tilloppsöppningen till en motorspruta kallas sugstuds. Till sugstudsens kopplas sugslangen som är formstabil och alltså tål undertryck utan att falla ihop. Till motorsprutor finns normalt två 110 mm sugslangar om vardera 4 meter, försedda med DIN-kopplingar med handtag. Små motorsprutor har en sugslang av mindre dimension och normalt 4 meters längd. Slangen ska i hela sin längd slutta nedåt från pumpen för att undvika luftfickor. Om slangen ligger an mot en skarp kajkant eller liknande måste den skyddas så att inte vibrationerna gör att slangen nöts sönder.

I sugslangens ände fästs en sugsil för att förhindra att skräp sugs in i pumpen. Bäst är en sugsil med inbyggt flytelement. Det ger bra vattenkvalitet även vid vattentag med dyig botten eller med skräp på vattenytan, samtidigt som luftinsugning förhindras. Saknas flytelement måste sugsilens läge i vattnet regleras manuellt med hjälp av en avhållslina. Silen bör ligga 0,5 meter under vattenytan för att undvika virvelbildning och att luft sugs med. Den får dock inte ligga så nära botten att skräp sugs med. Bäst effekt fås om silen riktas motströms så att det strömmande vattnet pressas in i sugslangen. Är det grunt kan sugsilen placeras i en hink som är halvvägs nedgrävd i botten. Vid små djup ersätts sugsilen med en så kallad elefantfot om botten är slät och utan skräp.

För att förhindra att pumpen tappar vattnet om den stängs av sitter en backventil i silen, bottenventilen. En vattenfylld sugslang är tung. För att kunna släppa ut vattnet finns en lättverkslina kopplad till bottenventilen. Om den är spänd under drift riskerar den att öppna bottenventilen så att vattnet släpps ut av misstag. Om evakueringsanordningen inte fungerar kan vatten ”ryckas upp” genom att sugsilen med snabba ryck sänks och höjs. Bottenventilen öppnar när slangen sänks ner mot vattnet och stänger till

på väg upp. Vattenmängden ökar då successivt i slangen. Ju större pump, desto tyngre arbete. Ytterligare ett sätt är att manuellt hålla på vatten bakvägen in i pumpen innan den kopplas in.

Vintertid kan sug silen ersättas med ett isrör om sprutan ställs upp exempelvis på en isbelagd sjö. Isröret är ett meterlångt rör med en vinkel och koppling i ena änden och silperforering i den andra. Isborren är ett självklart tillbehör.

Pumpkörning

Principerna för användningen av en pump är lika oavsett om det rör sig om en helautomatisk pump monterad i en släckbil, om det är en motorspruta ur beredskapsförrådet eller om det är en bärbar pump för skogsbrandsläckning. Beskrivningen i detta avsnitt rör främst motorsprutor, men kan i tillämpliga delar även användas för andra typer av brandvattenpumpar.

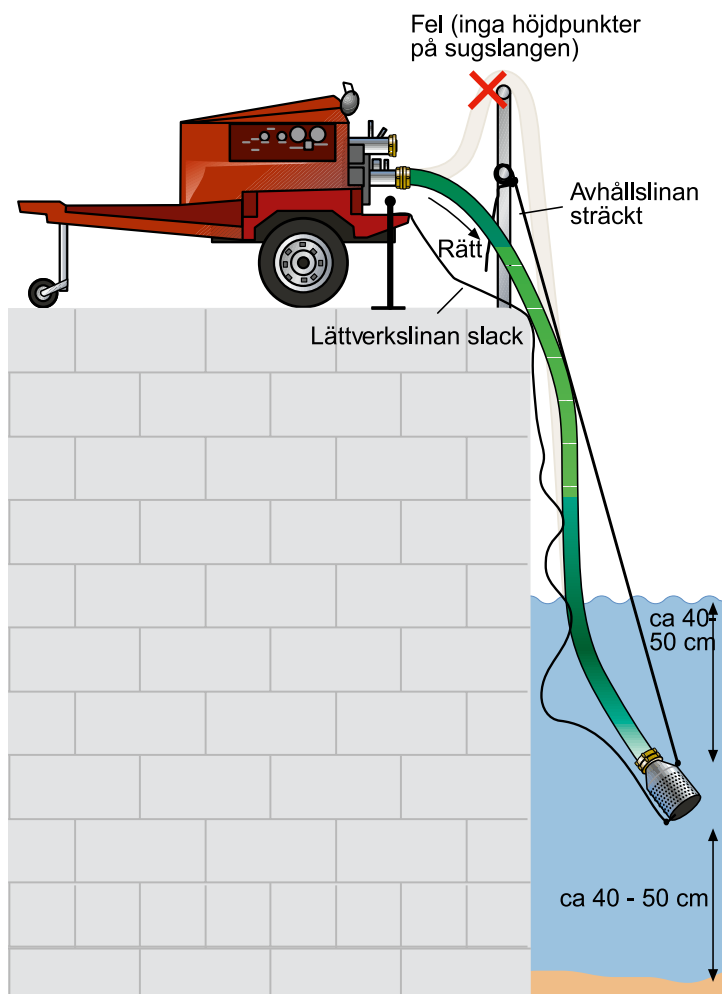
Till varje pump finns alltid en instruktion och teknisk beskrivning, som beskriver pumpens prestanda, till exempel pumpkurva, och åtgärder före, under och efter körning, samt felsöknings- och underhållsscheman. Denna instruktion bör alltid finnas vid pumpen, helst inplastad.

För en motorspruta som används för att ta vatten från öppet vattentag, kan nedanstående handledning användas. Dock varierar handgreppen och punkterna mellan olika fabrikat.

Kontroller före användning:

1. Kontrollera pumpens motor: drivmedel, olja, batteri och kylarvatten.
2. Kontrollera sugslangarna: sugsil, backventiler, packningar.
3. Smörj eventuella smörjställen.
4. Kontrollera evakueringsanordningen.
5. Stäng samtliga tryckuttag och dräneringskranar.
6. Kontrollera att pumpen är frikopplad.

Att ställa upp och ansluta en motorspruta till ett öppet vattentag kallas att angöra motorsprutan. En rätt uppställd bogserbar motorspruta har vågrät pumpaxel och avlastad hjulaxel, så att pumpen inte vandrar iväg av vibrationerna. Dessutom har sugslangen inte någon punkt högre än vid anslutningen till pumpen, där det kan bildas luftfickor som gör att pumpen kan tappa vattnet. Alla ventiler utom bensinkranen stängs innan start.



2.24 Uppställning av motorspruta vid öppet vattentag.

Förvaras en reservdunk varmare än när den fylldes kan det bildas övertryck i dunken. När den öppnas kan bensin därför spruta ut och antändas mot heta motordelar.

Uppställning:

1. Placera motorsprutan på fast underlag nära vattentaget, så att sughöjden inte överstiger 7,5 m.
2. Sänk dragstången något, fäll ned de bakre stödbenen och lås fast dem.
3. Lyft upp dragstången igen, fäll ner och lås fast de främre stödbenen, alternativt stödhjulet.
4. Kontrollera att pumpaxeln är vågrät och att hjulaxeln är avlastad.
5. För pumpar med fläktkyld motor kontrolleras att luftintaget är fritt. På andra typer av sprutor bör motorhuvens fällas upp, och eventuella täckplåtar tas bort för att minska risken för överhettning. För motorer som kyls av pumpvattnet måste lite vatten alltid tas ur systemet.

Uppkoppling

1. Koppla ihop sugslangar och sugsil och dra åt kopplingarna. Fäst avhållslina och lättverkslina till sugsilen respektive lättverket.
2. Kontrollera nätet i sugstudsens (pumpinloppet) och rensa det vid behov.
3. Lägg sugsilen i vattnet, fäst sugslangen till pumpen och dra åt.
4. Sträck och surra avhållslinan så att sugsilen får lämplig placering. Fäst änden på lättverkslinan.
5. Anslut tryckslang till tryckkuttagen.

Evakuering

1. Kontrollera skyddsklädseln. Hörselskydd är en självklarhet för pumpskötare.
2. Starta pumpens motor och låt den varmköra en kort stund. Detta kan göras före angöring.
3. Lägg i pumpväxeln.
4. Koppla till evakueringsanordningen om den inte kopplas till automatiskt och ge 1/4 gas. Har pumpen avgasejektor ges full gas.
5. Under evakueringen kan man stå med ett ben lutat mot sugslangen. Då känner man hur slangen sjunker av tyngden hos det uppströmmande vattnet.
6. Utslaget på vakuummeteren sjunker först till ca $-0,8$ MPa, sedan kommer det att stiga upp till ett värde som motsvarar sughöjden.
7. Manometern ger utslag.
8. Ljudet från evakueringsanordningen förändras.
9. Det kommer vatten ur evakueringsanordningens avlopp. Detta är det sista av fem tecken på att evakueringen lyckats. Det går alltså att både se, höra och känna att evakueringen fungerar.
10. Avbryt evakueringen. Vid klartecken, öppna tryckkuttag för att påbörja vattenleveransen. Öppningen görs försiktigt för att undvika att pumpen tappar vattnet.

Täthetsprov

För att kontrollera pumpens funktion kan ett täthetsprov utföras.

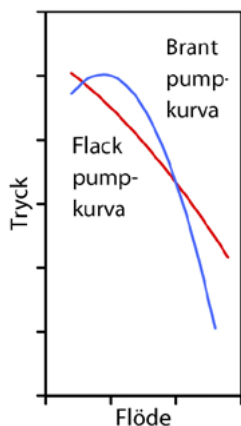
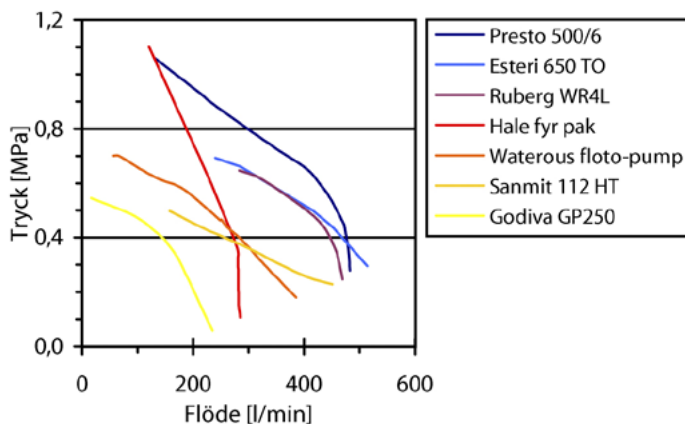
1. Montera locket på sugstudsens och se till att tryckkuttag och dräneringskranar är stängda.
2. Starta motorn med pumpen frikopplad och låt den bli varm.
3. Evakuer pumpen. När vakuummeteren nått maximalt utslag avbryt evakueringen och motorn stängs av. Trycket bör vara lägre än $-0,8$ MPa.
4. Lyssna efter eventuellt läckage och kontrollera att trycket inte ökar mer än $0,2$ MPa på 3 minuter.
5. När kontrollen är färdig utjämnas trycket genom att ett tryckkuttag öppnas.
6. Provet journalförs så att det framgår när pumpen senast testades. Någon gång om året kan täthetsprovet utföras med sugslangarna anslutna till pumpen. Då placeras sugstudsens lock i änden på sugslangen i stället. Detta prov sliter på sugslangen och ska inte utföras för ofta eller med långa evakueringstider.

De fem knapparna i brandmännens äldre livskurna uniformsjacka fick ibland symbolisera orden i meningen: "Jag ska aldrig glömma pumpväxeln!" Även om beklädningen ändrats, gäller minnesregeln fortfarande. Kommer inget vatten är den vanligaste orsaken att något tryckkuttag eller någon dräneringskran är öppen.

Att stå grensle över sugslangen är inte lämpligt. Undvik risken att skadas om sugslangen skulle lossna vid vattenslag.

2.25 (till vänster)
Beroende på hur pumpen ska användas, kan den utformas med brant eller flack pumpkurva.

2.26 (till höger)
Exempel på pumpkurvor för bärbara motorsprutor (efter Test av bärbara motorsprutor, 1999).



Felkällor

- Manometern ger utslag, men det kommer ändå inget vatten. Orsak kan vara att tryckkuttagen är igentäppta eller frusna.
- Pumpen tappar vattnet så fort ett tryckkuttage öppnas. Orsaken kan vara att uttagen öppnats för hastigt, att sughöjden är för stor, att det finns en höjdpunkt på sugslangen och därmed en luftkudde eller att sug silen ligger så nära vattenytan att pumpen suger luft.
- Pumpen ger minskande vattenmängd och till slut inget vatten alls. Evakueringsanordningen slår till. Orsak kan vara att sug silen eller bottenventilen täppts till. Sugslangen kan vara otät eller ha blivit hoptryckt och fått en mindre tvärsnittsyta. Sughöjden kan ha ökat om vatten sugs från ett vattentag med begränsad volym. Föroreningar kan ha satt sig i pumphjulet eller i ledskenan.
- Pumpen har körts men lämnar inget vatten efter ett stillastående. Orsaken är förmodligen att pumpen tappat vattnet på grund av en otät bottenventil.
- Motorvarvet minskar, manometerutslaget minskar och vakuummeterutslaget ökar. Orsaken kan vara att mer vatten tas ut på brandplatsen, eller att en tryckslang har sprängts.
- Motorvarvet ökar, manometerutslaget ökar och vakuummeterutslaget minskar. Orsaken kan vara att mindre vatten tas ut på brandplatsen eller att tryckförlusterna ökat.
- Trots lång evakuering kommer inget vatten. Vakuummetern ger inget utslag. Orsaken är att pumpen har kontakt med ytterluften. Någon dräneringskran eller tryckkuttage kan vara öppet. Sug silen kan ligga så högt att den suger luft. Pumpen eller sugledningen kan vara otät. Det kan också vara fel på evakueringsanordningen.
- Trots lång evakuering kommer inget vatten men vakuummetern ger utslag. Orsaken är att flödesmotståndet är för stort. Det kan bero på att sug silen är igensatt, antingen utvändigt av skräp eller invändigt om gummiringen lossnat. Sughöjden kan också vara för stor.

Pumpflöden

Prestanda för pumpar varierar kraftigt. Pumpkurvan är ett diagram som visar vattnets tryck som funktion av flödet. Ledskenans utformning, stigningen och utloppsvinkeln på pumphjulet och antalet steg i pumpen är viktiga faktorer som bestämmer pumpkurvans utseende. Utloppsvinkeln är vinkeln mellan skovelbladet och tangenten till pumphjulets ytterkant. Är denna liten, blir pumpkurvan flack. Större vinkel ger brantare kurva.

Pumpkurvan varierar inte endast med pumpens konstruktion, utan också med driftförhållandena. Varje kombination av varvtal på pumpen och sughöjd ger en särskild pumpkurva.

Kapacitetskontroll

Vid leverans och översyn av pumpar, görs en kapacitetskontroll, för att säkerställa att pumpen har rätt prestanda. En förenklad kapacitetskontroll kan göras under mellantiden. För en motorspruta innebär det i korthet nedanstående punkter. Övriga pumpar kan kontrolleras på motsvarande sätt.

1. Ställ upp, angör och evakuerar motorsprutan.
2. Montera enhetsstrålrör direkt på motorsprutans tryckuttag.
Munstyckstrycket är då ungefär samma som pumptrycket och visas på manometern.
3. Öppna tryckuttagen maximalt och kör motorn på full gas.
4. Genom att variera strålarnas munstycken fås olika tryck. Flödet kan beräknas med hjälp av munstycksformeln som redovisas i avsnittet om flöden genom munstycken. Till exempel ger ett 14 mm munstycke vid 0,6 MPa ca 300 l/min.
5. En motorspruta klass 3 ska klara ett tryck om minst 1,0 MPa med två 22 mm och ett 14 mm munstycke. Då är flödet ca 2 400 l/min.
6. Variera antalet strålar och stråldiameter. Med hjälp av munstycksdiametern och munstyckstrycket kan flödet genom ett strålrör beräknas. Därefter kan pumpkurvan, det vill säga ett tryck/flödesdiagram, ritas upp.
7. Som avslutning journalförs provet och motorsprutan dräneras och återställs.

Inom räddningstjänsten behövs ett så robust system som möjligt, där trycket så enkelt som möjligt ska kunna hållas konstant oberoende av flödet. Detta står i strid mot verkningsgraden på centrifugalpumpar. Verkningsgraden är bäst på en pump som har en brant pumpkurva. Detta kan lösas på två sätt. Det första är att utrusta pumpen med ett övervakningssystem för tryckreglering. Systemet håller det utgående trycket på önskad nivå och arbetar i princip på samma sätt som när en brandman reglerar trycket

genom att ändra varvtalet på motorn. Övervakningssystemet kontrollerar vattenuttaget och justerar motorens varvtal därefter. Detta möjliggör valet av en pump med brant pumpkurva och hög verkningsgrad inom ett stort flödesspann.

Det andra sättet att hålla trycket på så jämn nivå som möjligt är att använda en pump med flack pumpkurva. Genom en liten utloppsvinkel på pumpens skovlar, blir trycket i stort sett konstant upp till ett relativt högt flöde. Där finns ett knä på kurvan, som därefter faller brant till pumpens högsta flöde. Nackdelen med denna metod är att pumpens verkningsgrad blir sämre och att en kraftigare motor måste användas. För en fordonsmonterad pump är detta dock inget problem, eftersom motorn måste vara dimensionerad för transport, vilket kräver mer energi än för vattenpumpning.

Pumpkurvan som funktion

Pumpkurvor hos centrifugalpumpar kan ofta uttryckas som en andragsgradsfunktion. De följer alltså i allmänhet sambandet

$$p = Aq^2 + Bq + C$$

p [Pa] utgående tryck
 q [m³/s] flöde
 A , B och C är konstanter

Sambandet innebär att pumpkurvan kan bestämmas genom att tryck och flöde mäts vid några olika punkter. Konstanterna bestäms sedan med hjälp av ett beräkningshjälpmedel eller genom successiv elimination. När pumpkurvan är känd kan trycket vid olika flöden beräknas.

Pumpens effektivitet och effektbehov

Effektiviteten hos pumpen brukar variera med vattenflödet, men sjunker normalt vid höga och låga flöden. Pumpens effektivitet kan bestämmas med hjälp av sambandet.

$$\eta = \frac{\rho g q h}{P}$$

η [-] effektivitet
 P [W = Nm/s] motoreffekt
 ρ [kg/m³] densitet
 g [N/kg] allmänna gravitationskonstanten

Affinitetslagarna är tre samband som talar om hur en ändring i pumpens varvtal påverkar flödet, tryckhöjningen och effektbehovet. Alla tre sambanden är framtagna på samma sätt. I det första fallet har kunnat konstateras att flödet genom pumpen är direkt proportionellt mot pumpens varvtal. Genom att dela sambandet för situationen före en förändring med sambandet efter en förändring, försvinner alla konstanter och kvar blir flöde och varvtal. Sambandet används vid flödesreglering med en varvtals-reglerad pump. Genom att exempelvis halvera varvtalet, minskar också flödet genom pumpen till hälften.

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

q [l/min] flöde
 n [min⁻¹] pumpens varvtal
 p [Pa] tryckökning i pumpen
 P [W] effektbehov

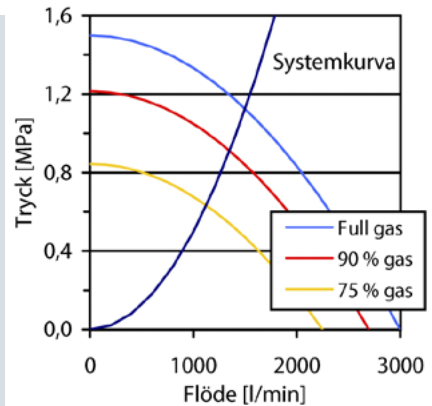
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Genom att kombinera sambanden kan tryckförändringen, flödet och effektbehovet relateras till varandra.

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^2 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Många hydraulikberäkningar bygger på att trycket är proportionellt mot flödet i kvadrat.

Om munstycket till en dammsugare täpps till, ökar varvtalet, frekvensen på motorljudet ökar. När fläkten går utan att luft dras igenom dammsugaren går det åt mindre energi och fläkten kan snurra fortare. Om dammsugarslangen istället lossnar, minskar strömningsförlusterna och större mängd luft sugas igenom. Motorn får då arbeta hårdare och varvtalet minskar. Detta hörs genom att frekvensen hos motorljudet sjunker.



2.27 Pumpens prestanda ändras om man reglerar motorns varvtal.

Tryck- och sughöjd

Statisk uppforderingshöjd är höjdskillnaden mellan ytan hos vattentaget och strålröret. Denna höjd kan delas upp i en statisk sughöjd, som är höjden från vattenyta till pump och en statisk tryckhöjd, som är höjden från pump till strålrör.

Dynamisk sughöjd är statisk sughöjd plus strömningsförluster fram till pumpen. På motsvarande sätt är dynamisk tryckhöjd summan av statisk tryckhöjd och strömningsförluster från pump till strålrör samt munstyckstryck.

Summeras dynamisk sughöjd och tryckhöjd fås dynamisk uppforderingshöjd, som alltså är den totala tryckförändringen som pumpen ger åt vattnet. Denna tryckskillnad kan avläsas som skillnaden mellan pumpens ingående och utgående tryck.

Den högsta praktiska sughöjden är 6–7 m, då vattnet i sugslangen har en viss hastighetsenergi, då det finns strömningsförluster i sugslangen och då det inte går att skapa fullständigt vakuum. Dessutom försämras pumpens prestanda med ökande sughöjd. Uppställningsplats för motorspruta kan alltid rekognoseras i förväg och 5–6 m höjd mellan uppställningsplats och vattenyta kan ses som maximal höjd för lämpliga uppställningsplatser. Pumpar har normalt endast 8 m sugslang.

Maximal teoretisk sughöjd

Sugslangen börjar fyllas med vatten när evakueringsanordningen skapar ett undertryck i sugslangen. Omgivningens tryck kommer då att pressa in vatten i sugslangen. Hade det gått att skapa fullständigt vakuum i sugslangen, hade vattnet pressats upp till en höjd som motsvaras av det omgivande lufttrycket. Detta kan uttryckas med hjälp av en förenkling av Bernoullis ekvation.

$$\rho_v g z_v = p_l$$

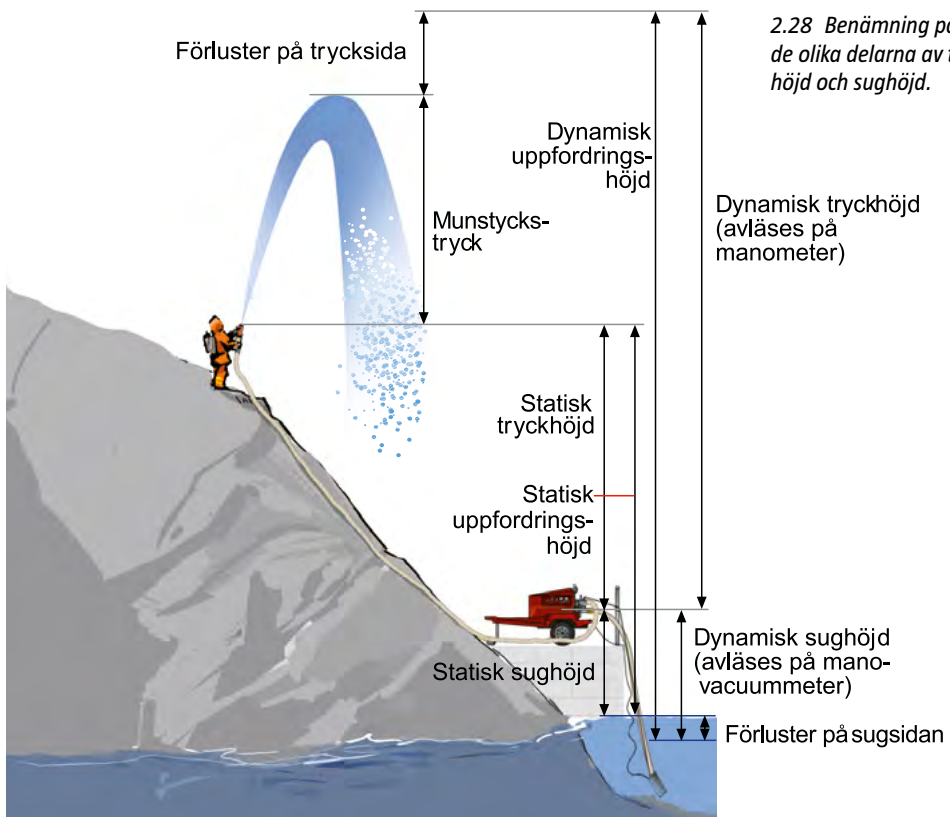
ρ_v	[kg/m ³] vattnets densitet
g	[N/kg] allmänna gravitationskonstanten, 9,81
z_v	[m] vattenpelarens höjd
p_l	[Pa] lufttryck

Strömningsförluster i sugslangen har försummats här, likaså vattnets rörelseenergi. Med ökande flöde spelar dessa faktorer större roll. Ingen hänsyn har heller tagits till att vattnet inte kan utsättas för lägre tryck än sitt eget ångtryck, utan att börja koka.

Om lufttrycket är 101 300 Pa, blir den teoretiska maximala sughöjden utan flöde.

$$z_v = \frac{p_g}{\rho_v g} = \frac{101300 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ N/kg}} = 10,3 \text{ m}$$

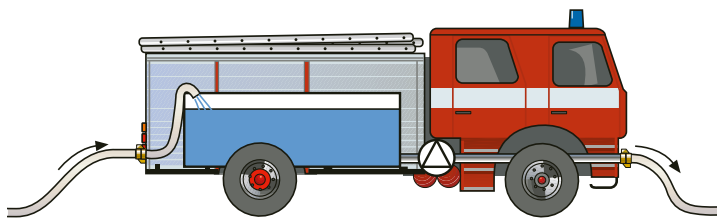
Lufttrycket varierar med höjden. På 500 m höjd över havet har lufttrycket sjunkit till 95 500 Pa vilket innebär att den teoretiskt maximala höjden minskar till 9,7 m. (CRC, 1986, sid. F-150).



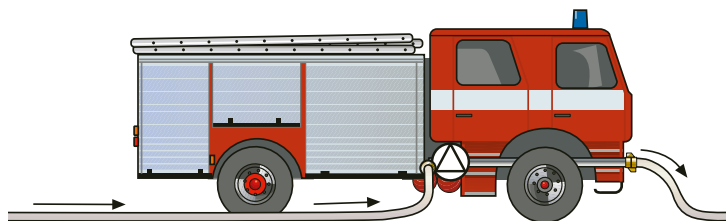
Pumpen som värmekälla

Även om trycket i slangen sjunker med strömningsförlusterna försvinner inte energin ur vattnet. Rörelseenergin omvandlas i stället till värmeenergi, en process som kallas dissipation. Det innebär att vattnet blir något lite varmare när det når strålröret. Normalt märks det inte, men om slangen kopplas tillbaka till pumpen för rundkörning, kommer det cirkulerande vattnet att värmas upp. Detta kan vara användbart till exempel vintertid där cirkulerande och uppvärmt vatten förhindras att frysa, eller vid insatser där sanering av skadade eller insatspersonal måste ske. Kapacitet på uppvärmningen beror på vilken pump som används och hur mycket strömningsförluster som ordnas. Med en 25 m 76-slang som kopplas från tryckuttag till intag tar det endast några minuter att få ljummet vatten. Ju större strömningsförluster, desto snabbare går uppvärmningen.

Om en centrifugalspump körs mot stängd ventil under en tid, finns risk för varmgång. Detta gäller i synnerhet om motorn körs på högt varvtal men strålrören är stängda. Då överhettas pumpen snabbt. Många fordonsmonterade pumpar har automatisk övervakning med en termoventil som öppnar och släpper ut vatten om det blir för varmt. På övriga pumpar måste varvtalet sänkas och lite vatten tas ut om strålrören hålls stängda under längre tid.



2.29 Öppen och sluten seriepumpning.

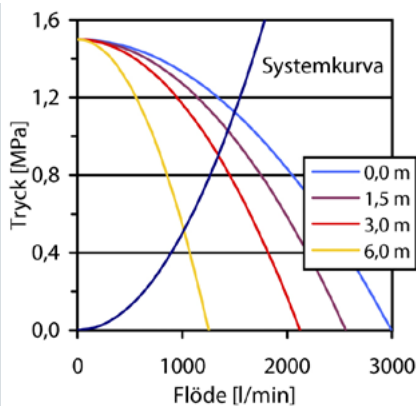


Kavitation

I centrum av pumphjulet är det alltid lägst tryck och därför kan vatten rinna till pumpen på sugsidan. I vissa fall blir trycket så lågt, att det understiger vattnets ångtryck och vattnet börjar koka. Detta kallas kavitation. Vid 100 °C är vattnets ångtryck lika med atmosfärstrycket, alltså 101 300 Pa. Vid denna temperatur kokar vattnet. Sänks trycket kokar vattnet vid lägre temperatur. Är trycket riktigt lågt, 2 300 Pa, kan vatten fås att koka vid rumstemperatur, vilket alltså sker i pumpen. Vattnet kokar och förångas. Den förångade gasen förflyttas utåt i pumphjulet där hastigheten minskar på grund av att kanalen vidgas. Då ökar trycket och vattenångan kondenserar tillbaka till vätska. Gasbubblorna faller ihop mot pumphjulet. Detta ger upphov till knockningar som hörs tydligt och som sliter mycket hårt på pumphjulet. Att åtgärda kavitation görs enklast genom att sänka varvtalet på pumpen. Låg sughöjd minskar också risken för kavitation.

Om kavitation sker beroende på att vattenuttaget är så litet att vattnet i pumpen värms upp kan den hävas genom att vattenflödet ökas. Enklast görs detta genom att öppna ett tryckuttag. Kavitation kan också undvikas med en termoventil som tappar av vatten när det blir onödigt varmt.

Är ledningen lång mellan tank och pump på en brandbil kan strömningsförlusterna i ledningen begränsa kapaciteten hos pumpen. Ju större flöde, desto större blir strömningsförlusterna. När kavitation uppstår, kan inte mer vatten strömma genom ledningen. Då har utslaget på manovacuumetern sjunkit till ungefär -0,80 till -0,85 MPa.



2.30 Sughöjdens inverkan på pumpkurvan hos en fiktiv pump. Att maxflödet minskar vid höga sughöjder beror på att trycket i sugslangen blir för lågt så att kavitation uppstår.

Seriepumpning

Om avståndet mellan vattentag eller brandpost och brandplats är för stort, måste fler än en pump användas. Detta kallas för seriepumpning. Man skiljer mellan öppen och sluten seriepumpning. Går vattnet från den första pumpen till en behållare, ur vilken den andra pumpen tar sitt vatten, kallas det öppen seriepumpning. Går vattnet istället direkt till sugsidan på den andra pumpen kallas det för sluten seriepumpning.

Att vid sluten seriepumpning hålla ett jämnt tryck på två pumpar, samtidigt som strålrör öppnas och stängs i andra

änden av slangsystemet, är i princip omöjligt utan tekniska hjälpmedel.

Öppen seriepumpning är i allmänhet bäst. De två pumparna är då i princip skilda åt, systemet blir mindre komplext och det blir lättare att reglera tryck och flöde. Vid öppen seriepumpning finns dessutom en buffert vid den andra pumpen, vilket gör systemet mindre känsligt för störningar. Pumpavbrott eller slangbrott i den första delen av systemet kommer inte att påverka den andra delen av systemet, förrän bufferten är slut.

Ofta är det lämpligt att använda vattentanken på brandbilen som buffert och att låta en motorspruta försörja denna med vatten. Tillflödet kan då regleras med inloppsventilen, antingen manuellt eller med nivåhållningsautomatik, så att inte tanken svämmas över. En självresande vattenbassäng fungerar utmärkt som mellanlager vid seriepumpning långa sträckor. Då behöver inte en släckbil låsas upp endast för tankens skull. Om en öppen bassäng används, regleras nivån med motorvarvet på den första pumpen beroende på hur mycket vatten som tas ut.

Pumparnas inbördes placering vid seriepumpning är en fråga om tryckförluster. Den första pumpen placeras alltid vid vattentaget eller nära brandposten.

Om det önskade munstyckstrycket är hälften av pumpstrycket, och två lika pumpar används, bör den andra pumpen placeras på två tredjedels avstånd till brandplatsen. Då utnyttjas energin från den första pumpen till tryckförluster i slangen, medan energin från den andra pumpen delas lika mellan slangförluster och munstyckstryck.

Om pumparnas kapacitet får styra avståndet mellan pumparna, spelar det inte någon roll i vilken ordning stora och små pumpar placeras. Det är minst risk för felbedömning om den största placeras närmast vattentaget. Det kan dock finnas skäl, exempelvis om vattentaget är svårtillgängligt, att sätta den mindre sprutan närmast vattentag. Vid tveksamhet i valet av plats för den andra pumpen vid seriepumpning, välj den som ligger närmast vattentaget.

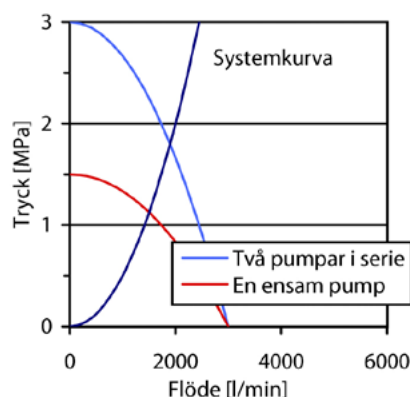
Vid slutet seriepumpning bör det ingående trycket till den andra pumpen vara minst 0,1 MPa. Är trycket lägre, finns risk för att slangen sugs platt med vattenavbrott som följd. Platt-sugning förebyggs med en genomtänkt placering av pumparna

från början. Om plattsugning ändå skulle uppstå, minskas flödet genom att varvtalet på den andra pumpen sänks. Alternativt kan vattenuttaget minskas eller varvtalet ökas på den första pumpen.

Om alla strålrör stängs, upphör flödet och därmed strömningsförlusterna. Då blir trycket i den andra ledningen lika med summan av de båda pumptrycken och det finns risk för att slangen sprängs.

Vid slutet seriekörning reglerar pumpskötarna motorvarven så att det utgående trycket på den första pumpen blir 1,0–1,2 MPa. Motorvarvet på den andra pumpen regleras så att det ingående trycket blir högre än 0,1 MPa. Då ger systemet maximal mängd vatten till högsta tryck.

Pumpkurvan från två seriekopplade pumpar kan ersättas med en ekvivalent kurva genom att de två kurvorna adderas vertikalt. Är pumparna identiska blir det totala maxflödet lika, medan det dämnda trycket dubblas.



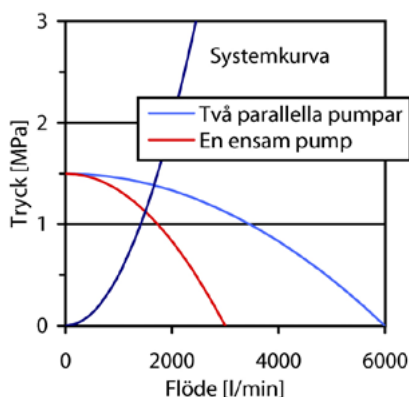
2.31 Förändring av pumpkurvan vid seriepumpning.

Parallellpumpning

Normalt innebär parallellpumpning ingen fördel för räddningstjänsten, beroende på att systemen då tenderar att bli onödigt komplexa. Oftast är det bäst att bygga separata system, där strålrör försörjs via grovslang och grenrör från olika pumpar.

Det finns dock en situation där parallellkoppling innebär en vinst. Det är om säkerheten behöver ökas i systemet. Om extra höga krav ställs på att det ska finnas ett säkert vattenflöde hos en rökdykargrupp, kan manöverslangen dras via ett grenrör med byxrör. Då kan två parallella system byggas upp, som oberoende av varandra förser grenröret med vatten. Då ökar redundansen i systemet och det gör inte så mycket om det skulle inträffa slangbrott på en av grovslangarna, eller om vattnet tar slut på ena stället eller om en pump skulle stanna. Pumpkurvan från två parallellkopplade pumpar kan ersättas med en ekvivalent pumpkurva genom horisontell addition av de två enskilda pumpkurvorna. Det maximala flödet blir dubbelt så stort, men det dämnda trycket förblir det ursprungliga.

2.32 Förändring av pumpkurvan vid parallellpumpning.



Slangsystemets delar

Brandslang

En tryckslang är avsedd för ett tryck högre än omgivningens och används efter pumpen. Icke formstyv vävslang är den vanligaste typen av tryckslang inom svensk räddningstjänst. Slangen består oftast av rundvävda nylon- eller polyestertrådar med en gummibeläggning på insidan. Det ger en stark och tät slang med små friktionsförluster. Vissa typer av slang har beläggning även på utsidan för att öka slitstyrkan. Det finns en standard, SS 2840, 1987, som anger grundläggande krav på vävslang.

Slang benämns efter innerdiameteren. De flesta dimensioner kan härledas från den tid då tum användes för längdmätning, 3 tum motsvarar 76 mm. Exempel på dimensioner är 17, 25, 38, 42, 63, 76, 110 och 150 mm.

De vanligaste dimensionerna av vävslang inom räddningstjänsten är 38 mm och 42 mm, vilka ofta benämns smalslang, samt 63 mm och 76 mm, som kallas grovslang. Vanligast är att slang i uttryckningstjänst är 25 m men andra längder, exempelvis 20 m förekommer. Eftersom ändarna slits mest kan slangen kortas, men degraderas då till övningsslang. Slangar avsedda för vattentransport över långa sträckor är ofta 50 m per slanglängd.

De minsta dimensionerna, 38 mm och 42 mm, används normalt som manöverslang, alltså slang som manövreras och som har ett strålrör i änden. Även 63 mm slang kan användas



som manöverslang, men det krävs två personer för att strålröret ska kunna hanteras effektivt. Då är det oftast effektivare med två mindre strålar. Slang som används för att mata fram vatten till ett grenrör, till en vattenkanon, eller mellan brandpost och pump benämns matarslang eller transportslang. De har grövre dimensioner, i normalfallet 76 mm. Om stora mängder vatten behöver transporteras över långa avstånd är 110 mm matarslang arbetsbesparande.

Vissa slangar är viktigare än andra. Därför kan exempelvis rökdykarnas slang ges en annan färg än övriga. Det finns slang i flera olika färger, till och med självlysande. Att ge rökdykare den nyaste och minst slitna slangen är också ett sätt att minska risken för slangbrott för den personalgrupp som är mest utsatt på brandplatsen.

Slangkopplingarna är standardiserade, men olika i olika länder. Hos svenska slangkopplingar är båda delarna likadana. I vissa länder används kopplingar där han- och honkopplingarna är olika. Smalslangar har slangkoppling 32 för tryckslang, oftast kallad klokoppling. Grovslang är försedda med slangkoppling 63 för tryckslang, ibland kallad svensk normalkoppling. Sugslangar och slang med 110 mm diameter har normalt 110 mm DIN- eller Storzkoppling. De två förstnämnda kan öppnas utan nyckel. På den sistnämnda kan handtag finnas monterade, annars behövs en speciell nyckel. De tre kopplingstyperna beskrivs i SMS 1176, SMS 1150 och DIN 14323.

2.33 Slang, 110, 76, 63, 51, 42 samt 38 mm.

2.34 Normal- (till vänster), klo- (överst) och DINkoppling (till höger) är de tre vanligaste typerna av slangkopplingar inom svensk räddningstjänst.



Att kopplingar är olika i olika länder innebär att det krävs en speciell gränskoppling vid samarbete med räddningstjänsten i länder med andra slangkopplingar. En gränskoppling består av en slangbit med en svensk koppling i ena änden och en utländsk i den andra. Vid fartygsbrandsläckning kan det också tänkas att en speciell anslutning behövs, en landanslutning, för övergång mellan sjöfartens flänskoppling och en svensk slangkoppling.

Formstyv slang kan användas till system med låga tryck, men används alltid till högtryckssystem. Trycken är då ungefär 2 MPa och uppåt. Slang avsedd för högre tryck får en tjockare slangvägg. Den är formstabil och armerad med stål- eller plasttråd. Det finns dock formstabil slang med ungefär samma vikt som vävslang. Högtrycksslang har ofta dimensionen 19 eller 25 mm. Genom att tillåta stora tryckförluster i slangen, kan vattnets hastighet vara hög och samma mängd vatten transporteras igenom slangen som om en större dimension hade valts vid lägre tryck. Med ett högtryckssystem fås alltså en tunnare och smidigare slang som gör angreppet mot branden snabbare. Detta är, enligt Rimen (1990), en av de största fördelarna med högtryckssystem.

I släckbilar förvaras formstyv slang fast monterad på centrumrulle. Det är ett snabbt standardverktyg. Längden är normalt mellan 40 och 80 m. I de fall två rullar finns på bilen kan slangarna skarvas ihop. Det krävs verktyg för att koppla högtrycksslangens skruvkopplingar. Ska slangen skarvas försvinner därför finessen med tidsvinsten. Snabbast är att dra ut vävslang vid bränder där avståndet från brandbilen är större än högtrycksslangens längd.



2.35 Formstyv slang på centrumrulle har fördelar där snabbhet och smidighet prioriteras.

Slangarmatur

Armatur är samlingsnamnet på de kopplingsdelar som används för att förgrena eller leda ihop slang och för att koppla ihop olika typer av slangar och ledningar. Även strålrör hör till armatur. Här behandlas de dock för sig. Brandposter har redan behandlats.

Grenrör används dels för att dela upp slangsystem i sektioner, dels för att förgrena slangnätet. Grenrör kopplas alltid till slutet av transportledningen, nära brandplatsen. Genom att placera grenrör eller avstängningsventiler på jämna avstånd blir systemet mindre känsligt för störningar. Hela systemet behöver exempelvis inte tömmas på vatten om en slanglängd brister och måste bytas. Med strategiskt placerade förgreningar ges den flexibilitet som krävs i och med att brandens utveckling inte är känd i förväg. I de flesta fall är det snabbare att lägga ut en ny slang från ett grenrör än att flytta en befintlig slang.

Grenrör finns av många olika slag. De större modellerna har flera utloppsöppningar, och används för att grena upp en



2.36 Olika modeller av grenrör, två av dem är kombinerade med byxrör.



2.37 När vatten släpps på i en slang finns risk att den vrider sig och välter grenröret. Vissa modeller av grenrör har därför en svivel på kopplingen till den ingående ledningen. Då står grenröret stabilt även om slangen vrider sig.



2.38 Inmatnings- och fördelningsrör för grovare slang.

grov transportledning till flera mindre ledningar. De mindre modellerna, trevägskopplingar eller Y-rör, förgrenar en ledning till två med samma kopplingstyp. Den minsta varianten av grenrör benämns vattentjuv och består av två kopplingar intill varandra. Mellan dem sitter en avtappningsventil med en mindre kopplingstyp. Vattentjuven används framförallt där arbetet bedrivs parallellt längs en längre sträcka och där samma matledning kan användas.

För att leda ihop två slangar, exempelvis vid seriekörning av motorsprutor med dubblerad slang eller vid skytteltrafik med tankbil, används ett byxrör. Byxröret har en klaff som stänger till flödet om trycket blir lägre i den ena av tilloppsslangarna än i den andra. Vatten förhindras därmed att strömma till via en slang med högre tryck och tillbaka via en slang med lägre tryck. Klaffen stänger däremot aldrig till båda slangarna, för det krävs en backventil.

I slangsystemet är stora mängder vatten i rörelse. Det ger stora krafter och en risk att bli träffad av armatur som går sönder eller som flyttar sig på grund av vattenslag. Det gäller slangar och i synnerhet slangkopplingar men även brandposthuvuden, grenrör, vattenkanoner med mera. Ett brandposthuvud som släpper flyger med lätthet tio meter upp i luften.

Under eftersläckning när vattenbehovet minskat, finns ofta möjlighet att koppla slang direkt från brandpost till grenrör. På så sätt kan brandbilen frigöras och beredskapen för nya larm ökar. Om grenröret är försett med byxrör kan omkopplingen göras utan avbrott i vattenförsörjningen.

Ofta används grenröret som baspunkt för rökdykarinsats. Ibland kallas det för kyrka. På samma sätt som kyrkan finns mitt i byn, finns grenröret mitt på brandplatsen. De äldsta modellerna hade dessutom ett kors längst upp som handtag.

För att kunna utnyttja 110 mm slang används ett särskilt inmatningsrör där fyra 63 eller 76 mm slangar från en motorspruta leds ihop. På motsvarande sätt grenas ledningen upp i slutet med ett grenrör med en 110 mm koppling in och fyra grovslangkopplingar ut.



För övergång mellan olika kopplingar finns övergångslock. Det används exempelvis om en smalslang ska anslutas direkt till brandpost. På äldre typer av grenrör med smalslangsuttag med kägelventil på ovensidan blir tryckförlusten stor om smalslangen kopplas till detta uttag. Förlusten minskar betydligt om övergångslock används för att ansluta en smalslang till grovslanguttaget.

Ett fastkedjat täcklock bör användas till alla utvändiga slangkopplingar på fordon och motorsprutor där smuts och skräp riskerar att komma in. I synnerhet gäller detta kopplingar på tillloppssidan, som ju inte går att spola rena.

2.39 Användning och förvaring av slangbryggor.

Slangtillbehör

Ibland måste slang dras över vägar som inte stängts av helt. Då måste slangen skyddas med hjälp av slangbroar. Slangbryggor är ett annat vanligt namn. Slangbroar ska alltid användas om det finns risk att fordon kommer att köra över slangen. De läggs alltid ut parvis med samma avstånd som hjulavståndet på de bilar som ska köra över. Observera att lastbilar och personbilar kan ha olika hjulavstånd. När slangbroar används bör varningssignal ställas ut i vägens båda riktningar.

Slangklämma används för att strypa vattenflödet i en slang, vid slangbyte eller inkoppling av grenrör eller dylikt. Med slangklämman kan trycket i slangen behållas.

Vid mindre läckage används en slangbinda för att tillfälligt tätat slangen, så att den inte behöver bytas ut under pågående insats. Ett alternativ är att tejpa runt slangen. Detta ger fördelen att det syns på slangen att den är trasig och var hålet är när den kommer till slangverkstaden.



2.40 (till vänster) Slangbinda eller tejp används för att undvika att en slang brister om den skulle börja läcka.



2.41 (till höger) Slangkrok används för att säkra en slang som behöver användas via stegen.

Slangkrok används för att säkra en slang som exempelvis dragits upp genom ett fönster eller på ett tak. En annan benämning är slanghållare. I en stålkrok sitter en tamp med en fast ögla. Tampen läggs om slangen, varefter kroken förs igenom ögla och kan hakas fast i en fönsterkarm, stegen eller liknande. Slangens tyngd låser fast löpsnaran.

En liten kil i rökdykarens utrustning kan också räknas till slangtillbehören, då den används för att ställa upp dörrar för att underlätta slangdragningen. Den kan även användas till annat, exempelvis att tillfälligt täta aktiverade sprinklerhuvuden.

Slangförvaring

Eftersom en grundregel är att få släckmedel på branden så snabbt som möjligt, ställer detta krav på att slangen ska dras så fort som möjligt.

Slangar måste packas för att kunna hanteras smidigt, dels under utryckning, dels på brandplatsen. Olika sätt att packa slangen har olika för- och nackdelar. Vävslang förvaras antingen rullad eller veckad. Båda varianterna används inom räddningstjänsten, så att det bästa kan väljas beroende på situationen. Med undantag för formstabil slang på centrumrulle måste brandslang alltid läggas ut innan vattnet släpps på. I annat fall kommer slangen ofelbart att skapa en oanvändbar härva.

Enkelrullad slang har en koppling mitt i rullen och den andra ytterst. Den kastas ut och kopplas därefter till pump och strålrör.



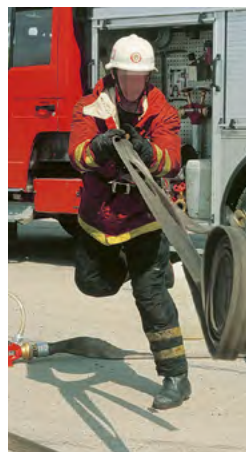
2.42 Slangbinda och slangkrok.

Att kasta ut en enkelrullad slang kräver en viss teknik och plan mark. Slangrullen hålls vertikalt och kastas iväg som ett bowlingklot, samtidigt som den yttre kopplingen hålls kvar. Kastet görs med sådan kraft att slangens rullas ut i hela sin längd. Ibland krävs ett ryck i slangens när utrullningen kommit halvvägs, för att få ut den sista biten. Enkelrullad slang med ett rep knutet som ett handtag genom mitten på rullen gör att slangens kan springas ut.

Dubbelrullad slang har båda kopplingarna utåt i rullen och kan läggas ut på två sätt. Den ena varianten är att kasta ut slangens och koppla den efteråt. Den andra varianten är att först koppla slangens i båda ändar och sedan springa ut med strålröret, slangens rullar då ut sig själv. Två dubbelrullade slangar kan seriekopplas och då tar man med strålrör och slangkoppling när man springer ut slangens. Detta går särskilt snabbt om paketet ligger färdigkopplat i brandbilen. Att kasta ut en dubbelrullad slang är lättare än en enkelrullad, eftersom längden bara är hälften. För manöverslang brukar fördelarna med en dubbelrullad slang överväga om avståndet mellan brandbilen och branden är litet.

Det finns ett undantag mot att vävslang alltid måste dras ut innan den trycksätts. Det är Metro- eller Cleveland-modellen som ursprungligen utvecklades för användning i höghus men som även kommit att användas inom skogsbrandsområdet. Slangens läggs enkelrullad men i en rulle med cirka en meter i diameter som plattas till och ger ett 1,5–2 meter långt paket. Strålröret fästs i den inre kopplingen och paketet säkras med två remmar med kardborreband. Vid insats bärs paketet över axeln till angreppspunkten, där det läggs på golvet. Remmarna lossas och paketet vidgas till att bli runt. Ytterändan kopplas till stigarledningen och slangens trycksätts och sväller då upp till en prydlig hög vid angreppspunkten. Därefter dras strålröret iväg.

Veckad slang förvaras oftast i slangkorgar av olika typ. Slangens ena ände kopplas varefter brandmannen går eller springer ut slangens. Om fler än en slang ska dras ut, brukar det gå snabbast om de förvaras i slangkorgar. När slangens packas läggs vartannat slangvarv ända ut till slangkorgens gavel och vartannat varv några centimeter innanför. På så sätt bildas inga kälkbackar vid gavlarna.



2.43 Kast med dubbelrullad slang kräver ett stadigt tag om båda kopplingarna.



2.44 Slang kan förvaras antingen rullad eller veckad. Rullad slang är antingen enkel- eller dubbelrullad. Veckad slang kräver någon form av förvaringsanordning.

2.45 Slangutläggare i arbete.



2.46 (ovan samt nedan)
Med en stigarledning i
höga trapphus är slang-
dragningen redan gjord.
Inloppet har varselmärk-
ning och sitter oftast
bakom en låst lucka.



Matarslang förvaras i stort sett uteslutande veckad. Ibland finns dock en kort rullad slang på släckbilar för att ansluta till en näraliggande brandpost eller till ett grenrör nära brandbilen.

Grovslangars tyngd gör manuell slangdragning arbetskrävande. En slangkorg packad med två längder grovslang väger ca 30 kg. Tyngden gör att slangerna ibland packas i en back som kan bäras på ryggen.

Långa slanglängder kan ligga veckade och färdigkopplade på slangkärror, slangjeepar eller slangutläggare. Bäst är om slangerna packas i två separata fack så att antingen en enkel eller en dubblerad ledning kan dras ut samtidigt. Detta system är tids- och arbetsbesparande när långa slangledningar ska läggas ut, men kräver farbar terräng. Eftersom slang väger mycket, är denna metod i stort sett den enda möjliga för långa slangar och 110 mm slang eller grövre.

Vid slangutläggningen kopplas slangerna i ena änden och ges en ordentlig manöverbåge. Fordonet körs därefter framåt. Slangerna vecklas ut automatiskt och lägger sig bakom fordonet.

Varje koppling måste övervakas särskilt, vilket innebär att det krävs en person som kör fordonet och en person som går efter. Normalt läggs slangen med början vid vattentaget och mot brandplatsen, eftersom motorsprutan oftast hänger på släp bakom slangjeepen. Det går också att med omvänd slangdragning lägga slangen från brandplats till vattentag. Detta blir enklast om slangläggaren åkt till brandplatsen först. Det kräver dock en rekognoserad uppställningsplats för motorsprutan. Skulle slangen vara utlagd och det visar sig att vatten måste tas någon annanstans ifrån, har ett onödigt problem uppstått. En hjulförsedd rulle som slangen rullas ut ifrån, ger ett alternativt sätt att lägga ut längre slangledning, exempelvis till brandpost. Principen är densamma som hos vindor för trädgårdsslang. För att ge någon förbättring, bör rullen kunna hanteras av en person.

Ett komplett system med veckad manöverslang i slangkorg kan vara uppkopplat i förväg. Slangkorgen förvaras lämpligen liggande och med öppningen utåt. En halvmeter av slangänden lämnas utanför korgen när packningen påbörjas. Då är båda kopplingarna fria att kopplas i förväg. Vid insats är det bara att ta tag i strålröret och dra iväg slangen. När slangen är fullt utdragen kan det finnas en automatventil som släpper på vattnet direkt.

Vid vissa räddningstjänster förvaras en längd matarslang, grenrör och två längder manöverslang med strålrör färdigkopplat i släckbilen, med slangen dubbelrullad. Vid insats räcker det att en person tar grenröret och strålröret och springer ut slangen för att få hela systemet på plats.

I hus högre än 24 m kräver byggreglerna att det finns stigarledning för att undvika tidsödande och arbetskrävande slangdragning i trappor. Både in- och uttag är försedda med varselmärkning. Grovslang kopplas från släckbilen till intaget vid marknivån och smalslang dras från något av de övre uttagen. Vid användning kontrolleras att övriga uttag är stängda och att det inte finns skräp i ledningen. Funktionen säkerställs genom räddningstjänstens tillsyn.

Stigarledning finns ofta fast monterad också i räddningstjänstens höjdfordon. Om så inte är fallet kan det vara lämpligt med en särskild, extra lång grovslang för användning i maskinstegen.

2.47 Vid slangdragning i stege, läggs alltid slangens sidan vid sidan. Manöverslangen förankras och får hänga fritt utanför.



Används standardlängder finns nämligen risk att slangkopplingar fastnar i stegpaketet. Slangen läggs alltid längs ena sidan i stegen, så att inte passage förhindras. Vid släckinsats via maskinstege är en i stegtoppen fast monterad centrumrulle lättast att hantera. Om lös manöverslang används, bör slangens sidan förankras med slanghållare och hänga utanför stegen. Annars kan den ta så stor plats att det inte går att klättra nedför stegen, vilket försämrar reträttvägen.

Slangdragning

Vid slangdragning längs gator är det bäst att lägga slangens sidan så rakt som möjligt längs sidan, för att inte hindra trafiken eller arbetet på brandplatsen. Om flera slangar löper parallellt, bör de ha samma inbördes ordning längs hela sträckningen. Ju större insatsen är, desto viktigare är det med en disciplinerad slangdragning, för att möjliggöra felsökning och utbyggnad av systemet.

När en manöverslang dras ut, läggs den så att strålföraren kan avancera utan att slangdragningen hindras. Särskilt viktigt är detta vid rökdykarinsatser. Traditionellt läggs slangens sidan i bukter om tre till fem meter från sida till sida, exempelvis om rökdykarna använder en manöverslang kopplad till ett grenrör strax utanför byggnadens entré. På så sätt underlättas både angrepp och reträtt.



Om grenröret placeras inne i exempelvis en korridor eller ett trapphus kan det bli mycket slang där som snabbt skapar ett ormbo. Det kan då finnas skäl att först placera ut grenröret och sedan dra matarslangen därifrån mot släckbilen, så kallad omvänd slangdragning. Vid lägenhetsbränder där grenrör placerats i trapphuset kan det vara en fördel att lägga manöverslangen i buktar en trappa upp. Det är nämligen lättare att mata fram en slang neråt än uppåt. Den tidigare beskrivna Clevelandmodellen kan också användas.

Det finns inte nödvändigtvis något samband mellan mängden slang på brandplatsen och hur mycket vatten som når branden. Vid storbränder finns det risk att skadeplatsen börjar likna en tallrik spaghetti. Det är därför viktigt att fordonen placeras så att slangdragningen blir tydlig och att slang dras på ett sådant sätt att systemet kan byggas ut med en tydlig struktur. Grenrör kan dessutom användas för att hålla nere antalet slangar och skapa en smidig lösning av vattentransporten på brandplatsen. Det måste alltid framgå exakt hur alla strålrör försörjs. I synnerhet när det gäller bränder med rökdykarinsats, är detta en säkerhetsfråga.

Tyngden av en fylld slang gör det viktigt att hålla en disciplinerad slangutläggning, där slangarna läggs på ett medvetet och

2.48 Även vid relativt små insatser krävs disciplin vid slangutläggningen för att kunna hålla isär slangarna.

Veck på slangen får inte förekomma. Det leder till stora tryckförluster och minskat flöde i strålröret.



2.49 I ett hörn på slangen blir slitaget stort.

genomtänkt sätt redan från början. Vattenvolymen i en slang bestämmer slangens vikt. En grovslang som innehåller 4,5 kg vatten per meter är svår att flytta på när den väl lagts ut. Likaså blir en lång manöverslang oanvändbar om hela slangen ska släpas med. Till vatteninnehållet kommer dessutom slangens egentynghet, där en 38 mm slang väger cirka 0,2–0,3 kg/m och en 76 mm slang i storleksordningen 0,45–0,65 kg/m, beroende på fabrikat. Kopplingar och strålrör är då oräknade.

Börja alltid med en manöverbåge när slang dras, exempelvis från en brandbil eller brandpost, så att slangen inte riskerar att få kinkar när vattnet släpps på.

Undvik underlag med vassa stenar, skärande kanter m.m. som kan ge skador på slangen. Slangen vibrerar och rör sig mot underlaget under insatsen. Det är därför viktigt att det inte finns något som kan slita hål på slangen när vattnet behövs som bäst. Tänk också på risken för slangbrott på grund av nedfallande brinnande föremål, t.ex. takfoten, och dra inte slang nära fasaden till brinnande hus.

Textilslang är slitstark och tål omild behandling, men det finns risk för hål exempelvis om en vattenfylld, men inte trycksatt, slang släpas över en asfalterad yta. Slangen viks då och i vikningen bildas ett hörn som pressas mot asfalten av slangens tyngd. Där kommer ett hål att slitas mycket snabbt.

Vatten som släpps på har en våldsam kraft, framförallt i grövre slangar. Slangar och grenrör kan flytta sig flera meter. Därför bör alltid vatten släppas på försiktigt. En ventil ska aldrig öppnas utan besked från andra änden av slangen att allt är klart. Det är viktigt att säkerställa att all slang vecklats ut och att strålröret eller grenröret verkligen kommit på plats.

En historisk initiationsövning för räddningstjänstens aspiranter var att lägga ut en grovslang i bukter längs en brygga. Längst ut på kanten stod aspiranterna med kårens största strålrör. Strålröret var öppet och motorsprutan startades på full gas. När trycket ökade i slangen, rätade den ut sig och blev därmed något längre än bryggan. Detta blev aspiranterna varse.

När en kägelventil öppnas, exempelvis på ett grenrör eller en brandpost, vrids alltid kranen helt öppen och sedan ett kvarts varv tillbaka. Då märks om kranen redan är öppnad eller bara är trög. En kulventil är alltid öppen om handtaget är riktat i ledningens riktning och stängd om det är riktat vinkelrätt. Om en kulventil inte öppnats fullt, kan det strömmande vattnet och vibrationer göra att ventilen ibland stänger sig själv om den går för lätt.

Slangsystem blir ofta långa och det är mycket oväsen på en brandplats. Därför har system utvecklats där strålförare och pumpskötare kan kommunicera med handsignaler, t.ex. klarsignal att släppa på vatten i slangen, signal att stänga av vattnet eller öka eller minska trycket. Sådana signaler bör vara i överensstämmelse med reglerna för varselsignalering, enligt AFS 2020:1.

När ett system med vävslang kopplas upp finns det alltid luft i slangarna. Luften släpps ut genom att man försiktigt öppnar strålröret. När strålröret är luftat, är slangsystemet klart att användas. Med färdigkopplad centrumrulle behöver strålröret inte luftas.

Felkopplingar av brandslangar kan ställa till stora problem. Därför är inlopp och uttag för vatten och skum ofta markerade med pilar och olika färg. Färgvalet är dock inte standardiserat. En tankbil som försörjer strålförare med vatten på en brandplats har normalt två slangar kopplade, en ingående från brandpost



2.50 Strålröret luftas före inträngning.



2.51 En slangrullare är arbetsbesparande vid insamling av slang.

och en utgående till grenrör. Om den utgående slangen sätts på sugsidan upptäcks detta genast, då det inte kommer något vatten. Om den ingående slangen från brandposten kopplas fel, märks detta först när vattennivån i tanken börjar sjunka. Vatten från tanken kan tryckas ut i brandpostnätet, beroende på om pumptrycket eller brandposttrycket är högst. Det är även tekniskt möjligt att en brandpost som saknar backventil av misstag kopplas ihop med en motorspruta som pumpar vatten från öppet vattentag, vilket i värsta fall inte uppmärksammas förrän vattennivån börjar stiga i vattentornet. Har förorenat vatten pumpats ut i vattennätet krävs att det spolats rent och behandlas med klor för att undvika utbrott av magsjuka.

En slangledning med avgrenade strålrör läggs i en slinga runt en brandplats. Slingan försörjs av en direktkopplad brandpost i ena delen och av en tankbil i andra delen av slingan. Om för liten mängd vatten tas ur strålrören, finns risk att det högre trycket från tankbilens pump kan pressa vatten bakvägen från tankbilen ut i brandpostnätet. Då är det bättre att ha en tryckhöjande pump mellan slingan och brandposten.

Efter branden ska all utrustning samlas in och återställas i utryckningsberedskap. Slangen töms och rullas ihop på plats. Väl tillbaka på stationen ersätts den med ny slang och den gamla tvättas, provtrycks och torkas innan den får komma i utryckningstjänst igen. Lagning av slang bör göras efter slangtillverkarens rekommendationer. Det är ett arbete som kräver särskild kunskap.

Hantering av pumpar och slangsystem på vintern

Brandsläckning vintertid kännetecknas av risken för att vattnet fryser till is. Vattnet upphör att strömma och det blir stopp i ledningarna om flödet är för litet och kylan för sträng. Det innebär också att fukt exempelvis i en ventil kommer att frysa och fungera som lim, varvid ventilen inte går att rubba ur sitt läge. Vatten som blivit stillastående fryser och utvidgar sig. Vatten tar alltså något större plats i form av is. Dessutom kan is inte pressas samman, vilket innebär att kraften som uppstår när isen utvidgar sig är fullt tillräcklig för att spränga sönder det mesta, exempelvis ventiler och pumpar. Det är därför viktigt att vatten inte blir stående i någon del av systemet.

Enstaka minusgrader är normalt inget problem i brandsammanhang, eftersom de flesta insatser är snabbt avklarade och det tar relativt lång tid för vatten att kylas ner från vagnhallstemperatur. Vid -5 – -10 °C börjar problemen bli påtagliga och vid temperaturer därunder kan temperaturen allvarligt påverka insatsresultatet om den inte uppmärksammas. Förebyggande åtgärder och disciplin är viktiga komponenter i vinterbrandsläckning. (Räddningstjänst under sträng kyla, 2001)

Utrustningen kontrolleras särskilt i förväg. Ventiler behandlas med vattenfast fett. Packningar i kopplingar och ventiler kontrolleras noga, eftersom små läckage kan orsaka problem då läckande vatten bildar isklumpar. Slangkopplingar och pump glykolbehandlas i förebyggande syfte före insats.

Isolering är ett sätt att minska nedkylningen. En frontmonterad pump måste vara välisolerad, men även för en inbyggd pump kan ett par välplacerade cellplastskivor göra nytta. Detta gäller i synnerhet där fordonen inte är utrustade för vintertjänstgöring från början.



2.52 Brandsläckning vintertid ställer särskilda krav.

Bogserbara motorsprutor kan startas redan i vagnhallen vid sträng kyla och sedan gå på tomgång under uttryckningen. Större motorsprutor ska vara utrustade med en upptinningsanordning, ifall pumphjulet frusit fast under färd till brandplatsen (SS 3496, 1989). Den kan bestå av att motorns kylvatten cirkuleras runt pumphuset, eller att de varma avgaserna leds genom en metallslang och riktas mot det parti som behöver tinas. Är det pumphjulet som frusit fast, leds avgaserna lämpligen in i pumpen via sugstuds. Saknas fasta uppvärmningsanordningar kan eventuellt en blåslampa användas.

Lösningen på problemet med frysrisker i slangar är att vintertid alltid låta vattnet strömma i alla vattenfyllda slangar. Alla strålrör hålls något öppna, men riktade åt ett håll där vattnet inte gör någon skada. För strålrör som mynnar inomhus kan det ibland räcka att vattnet rinner ur grenröret utanför byggnaden. Annars måste de läggas så att vattnet rinner ut i avloppet.

System som på detta sätt går på sparlåga måste spolras ur ordentligt med jämna mellanrum. Annars kan de iskristaller som bildas längs slangväggen dras med och sätta sig i munstycket när flödet ökas igen. Renspolningen görs genom att munstycket tas bort och flödet ökas. Tallriksstrålrör har en

nackdel vintertid, då det finns risk att iskristaller kan sätta igen munstycket. Enhetsstrålrör är därmed mer driftssäkra under långvariga insatser.

Grenrörets placering är kritisk vintertid. Det bör placeras så att inte lössnö kan komma in i ventiler som därmed kan bli obrukbara av isproppar. Om strålröret mynnar inomhus och är stängt, måste grenröret ha ett litet flöde. Grenrörets placering måste därmed väljas med omsorg innan det rinnande vattnet har gjort brandplatsen till en isgata. Detta vatten kan även återanvändas med en slang som returledning.

Att saker tenderar att döljas i snö är en nackdel, i synnerhet om de skulle behövas i ett senare skede av insatsen. Disciplin är därför viktig vintertid, så att saker inte försvinner. Snö och is kan också täcka vattenkällan, vare sig den är i form av en brandpost eller ett öppet vattentag. Detta innebär att tiden ökar innan det finns vatten i strålröret.

Vid extrem kyla kan frysriskens minskas genom att slangarna isoleras med snö. Nackdelen med detta är att slangen inte kommer att synas. Ett slangbrott kommer därmed inte att märkas förrän vattnet försvinner ur strålröret. Vid slangutläggningen bör särskilt kopplingarna hanteras försiktigt så att det inte kommer snö på kopplingsytorna.

När slangsystemet ska kopplas ner är det viktigt att planera nerkopplingen innan någon ventil stängs. Med flödet kvar i slangen startas nedkopplingen genom att strålröret kopplas bort. Slangarna kopplas därefter bort, töms och samlas ihop en i taget. När sista slangen tagits bort kan pumpen kopplas ur och dräneras. Genom att behandla pumpen med glykol förhindras att den återstående fukten fryser. Strålrör och grenrör läggs efter tömning med ventilerna helt öppna i uppvärmt utrymme, exempelvis i brandbilen. Vattenförsörjning från brandpost kopplas ner på motsvarande sätt. Om brandpost använts, måste den dräneras ordentligt och eventuell isolering återställas.

Om slangen har frusit är det besvärligt att få hem den. En frusen slang får inte vikas. Med exempelvis varmvatten kan slangen tinas så mycket att det går att göra ett par veck. Ytterligare ett alternativ är att låna en mycket lång lastbil. Enklast är om det finns en uppvärmd lokal nära brandplatsen, där slangen kan tinas.

2.53 Strålrörets syfte är att reglera flödet och ge önskad strålbild. Här är ett strålrör uppbyggt i moduler med en modul för varje funktion.



Strålrör

Syftet med hela slangsystemet är att få vattnet på plats. Längst ut monteras ett strålrör med två syften, dels att reglera vattenflödet och ge möjlighet att stänga av vattnet, dels att ge en önskad strålbild. Strålröret kan vara allt från ett enkelt slätborrat munstycke på något hekto, upp till stora kanoner för vattendimma som väger tiotals kilo. Olika munstycken har olika användningsområden och används vid olika tryck och ger då olika vattenflöde.

Avstängningsmekanismen utgörs normalt av en kulventil eller en kägelventil. Båda ger en bra reglering av flödet med ett rimligt tryckfall. Ett överstarkt strålrör ger överskottsvatten, som blir till spill. Då är det en fördel med ett strålrör som är enkelt och snabbt att öppna eller stänga, exempelvis med pistolgrepp.

Flödet genom ett strålrör styrs av dess minsta diameter. Tydligast syns detta på ett traditionellt enhetsstrålrör. Det har ett antal löstagbara munstycksöppningar eller trappor med 7, 10, 14, 18 och 22 mm diameter. Mynningens storlek avgör tryckförlusten över munstycket och därmed vattenflödet. Genom att skruva av eller på trappor kan flödet och munstyckstrycket regleras.



2.54 Två likadana strålrör med högtrycks- respektive lågtryckskoppling.

Dimstrålrör har ofta en särskild krans med förinställda lägen som på motsvarande sätt stryper flödet till vissa diametrar, som vid givet ingångstryck ger ett känt flöde, exempelvis 150 och 300 l/min. Detta flöde gäller självklart vid fullt öppet strålrör.

Olika strålrör ger olika strålbild. De tidigaste modellerna består bara av ett avsmalnande rör och ger en sluten stråle. Kastlängden och räckvidden är god men träffytan är liten. Dessutom är vattendropparna stora vilket ger liten effekt mot heta brandgaser.

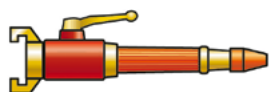
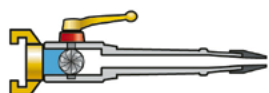
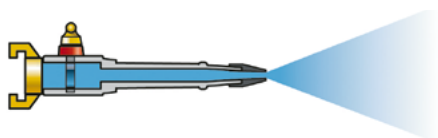
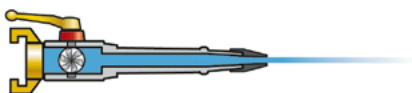
Enhetsstrålröret har två lägen, sluten och spridd stråle. Den slutna strålen skapas genom att munstycket smalnar av men stör flödet så lite som möjligt. Den slutna strålen används där avståndet kräver en lång kastlängd eller där den slutna strålens anslagskraft behövs.

En spridd stråle har stor träffyta och därmed god ytverkan om dropparna är så stora att de kan ta sig igenom eventuella brandgaser. Är vattendropparna små har den även god släckverkan mot flammor, men tyvärr kort kastlängd. Den spridda strålens överlägsenhet i förhållande till den slutna har varit känd länge i Sverige (Molin, 1955).

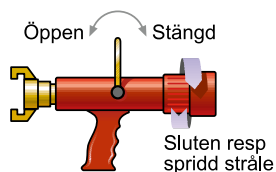
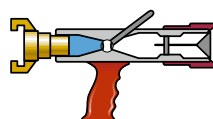
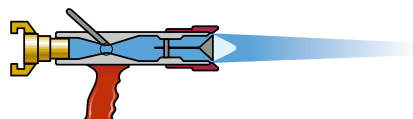
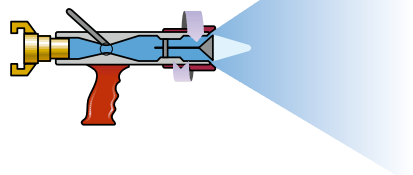
En spridd stråle från ett enhetsstrålrör skapas genom att en fast propeller sätter vattenstrålen i rotation. Den roterande strålen bryts upp när den lämnar munstycket. Konstruktionen är enkel och robust, men dropparna är för stora för att ha effekt i gasfasen. Spridningsvinkeln går inte heller att variera. Det finns dock sätt att producera en spridd stråle med bättre egenskaper.



2.55 Mindre enhetsstrålrör med klokoppling och större med normalkoppling. Med handtaget framåt är strålröret stängt, rakt upp ger det en spridd stråle och med handtaget bakåt ges en sluten stråle.



2.56 Enhetsstrålrör (ovan) och tallriksstrålrör med kulventil (till höger).



2.57 Dimstrålrör för lågtryck (vänster) och högtryck (höger). Pistolgrepp eller vinklat slangfäste ger bättre ergonomi.





2.58 Olika typer av tallriksstrålrör. Längst ner ett backupstrålrör eller förstärkningsstrålrör.



2.59 Dimspik: attack med vit ände och begränsning med röd ände.

Vid turbulenta flöden bryts en sluten stråle upp naturligt av luftmotståndet om hastigheten är tillräckligt hög. Ju högre vattenhastighet, desto snabbare bryts strålen upp och desto mindre blir dropparna. Vattenstrålen bryts upp av luftmotståndet och expanderar som en kon, tätt packad med droppar och omgiven av lager av mindre droppar.

Genom att minska diametern på strålen och öka hastigheten kan strålen fås att bryta upp när den träffar luften. Med fina strålar placerade bredvid varandra fås en duschstråle. Munstycket är enkelt till sin konstruktion och kan ge önskad droppstorlek. Tyvärr går det inte att reglera strålbilden och de små hålen är känsliga för skräp. Å andra sidan går det med denna typ av munstycken inte åt några stora mängder vatten.

Vattnets hastighet kan ökas ännu mer. En skärsläckare har så hög hastighet hos vattnet att strålen bryts upp och finfördelas efter några meter när den möter luften. Innan strålen brutits upp kan strålen dock skära igenom det mesta och därför är lansen så lång att man inte ska kunna sticka in handen i strålen medan man sprutar. Och med abrasiv tillsatt i strålen blir skärförmågan ännu bättre.

En uppbrytning i små droppar fås även om två små strålar kolliderar med varandra. Tekniken var standard för hundra år sedan i exempelvis assurance-sprutor, pyttssprutan som var föregångare till handbrandsläckaren. Tekniken används också i (begränsnings-)dimspik där ett antal fina strålar skapas som träffar varandra parvis. I en (attack-)dimspik studsas fina strålar i stället mot en yta. I båda fallen är det kollisionsvinkeln och strålarnas diameter som avgör hur finfördelad sprayen blir.

2.60 Ridåmunstycke.



Ett sprinklermunstycke har en enda jetstråle som kolliderar mot en fast spridarplatta som splittrar strålen i en fast strålbild. Eftersom sprinklermunstycket är utformat för ett särskilt scenario väljs spridarplattans utseende efter om munstycket ska placeras uppåt, nedåt eller horisontellt.

Ridåmunstycken har en liknande konstruktion: en sluten stråle träffar en halvcirkelformad skiva som sprider vattnet i en ridå. Ridåmunstycken finns i både mindre och större modeller och ju större, desto större vattenförbrukning och desto mer vatten att ta hand om.

Även manuella strålrör kan ha en tallrik som strålen splittras mot. De flesta dimstrålrör har denna konstruktion. Genom att reglera tallrikens läge fås allt från sluten stråle till dimstråle. Förses tallriksstrålröret med en tandkrans framtill fördelas vattnet ytterligare och droppstorleken minskar. Sprayens utseende styrs av hur tänderna utformas. Vissa utformningar skapar en krans av fina strålar med tomrum emellan. Detta kan förhindras genom att ge vattnet rotation, då blir de fina strålarna spiralformade i stället. Rotationen kan skapas antingen med en roterande tandkrans eller med en fast propeller inne i strålröret. Vid rotation rör sig vattendropparna utåt och vattenfördelningen kan komma att likna en ihålig kon. Med en extra öppning i mitten kommer vatten även där.

Vissa strålrör har även möjlighet att ge en skyddsstråle. Det är en vattenskärm med minst två meters diameter och stor konvinkel som skydd åt strålföraren.

En skicklig kock är rädd om sin kniv och ser till att den alltid är vass och redo för tjänst. Hur hanterar en brandman sina främsta arbetsredskap, slangen och strålröret?



2.61 Vattenkanon på taket och högtrycksrör på centrumrulle.

Man måste också komma åt med sitt strålrör, ibland är detta en avvägning mellan snabbhet och precision. Flygplatsbrandbilar har kanon placerad på taket för att kunna vara i aktion redan innan bilen stannat. Rör det sig om en större brand i en byggnad kan kanonen placeras på ett höjdfordon för bättre räckvidd och ökad precision. Även vid mindre bränder tvingas man ofta välja mellan snabbhet och precision.

Strålrörsspett, källarmunstycken och applikatormunstycken är exempel på specialstrålrör, speciellt framtagna för att komma åt i specifika scenarier. Det gäller även munstycken för vinddrivna bränder, där tanken är att strålröret sticks ut från våningen under brandrummet och riktas in genom fönstret till brandrummet.

De flesta strålrör, i synnerhet de som bygger på principer om små hål, är känsliga för skräp och partiklar i vattnet, vilket är vanligt om vatten tas från ett öppet vattentag. De har därför normalt en inbyggd sil. Om strålröret börjar ge lågt flöde eller konstig strålbild kan en rengöring av silen avhjälpa problemet. Tallriksstrålrör har ofta ett rensningsläge, där skräp kan sköljas ur utan att strålröret behöver kopplas loss.

Konstruktionen hos dimstrålrör är ofta komplicerad. De kräver noggrann skötsel och bör hanteras med varsamhet. Samtidigt ger de en strålbild med god släckeffekt, även om det krävs en hel del övning för att kunna hantera strålrören så de kommer till sin rätt fullt ut.

Strålbilden varierar mycket, från helt sluten stråle till spridda strålar och vattendimma. För att beskriva vattenstrålen från ett strålrör används ofta begreppen flöde, konvinkel, kastlängd, droppstorlek och vattentäthet. För manuella strålrör finns en särskild standard (SS 3500, 1987). Konstruktionen är oberoende av storlek, där en vattenkanon kan vara utformad efter samma princip som ett tallriksstrålrör. Konstruktionen är också ofta snarlik på låg- och högtrycksstrålrör.



2.62 Ett dimstrålrör med roterande tandkrans ger fina spiralformade strålar. Spiralen märks dock inte vid praktisk användning.

Flöden genom munstycken

Varje strålrör har ett rekommenderat arbetstryck. Pumpskötarens huvuduppgift är att se till att strålförarna har detta tryck vid sina strålrör, och en i övrigt säkerställd vattentillgång. Befälet avgör alltid var vattnet behövs bäst. Då vattentillgången kan vara begränsad får en strålförare aldrig på eget initiativ byta upp sig till ett grövre strålrör eller skruva av munstyckstrappor på ett enhetsstrålrör. Då finns nämligen risken att någon annan strålförare kan bli utan vatten.

En bra pump är utrustad med flödesmätare. I annat fall får vattenflödet beräknas. Beräkningarna bygger på att det finns ett samband mellan tryck, flöde och diameter hos ett munstycke. Övergången från enhetsstrålrör till tallriksstrålrör under senare delen av 1900-talet gjorde sambandet otydligare, men principen gäller ändå.

En strålförare får aldrig byta till ett strålrör med större flöde på eget initiativ.

Beräkning av vattenflöde ur munstycken

Flödet i ett strålrör ges av vattnets hastighet och munstyckets tvärsnittsyt, för ett strålrör med cirkulär munstycksöppning alltså:

$$q = c \cdot v \frac{\pi d^2}{4}$$

q [m³/s] flöde
 c [-] utströmningskoefficient
 v [m/s] vattnets hastighet
 d [m] munstycksdiameter

Hastigheten bestäms med hjälp av Bernoullis ekvation, som i förenklad form anger att

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \frac{\rho v_2^2}{2} \quad p \text{ [Pa] munstyckstryck}$$

Vänstra delen av formeln avser en punkt i slangen före munstycket och delen till höger om likamedtecknet avser en punkt precis efter munstycket. Hastigheten i munstycket är normalt betydligt högre än hastigheten i slangen och själva strålröret. När hastigheterna dessutom kvadreras blir hastigheten i slang-
en försumbar.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2p_1}{\rho}}$$

Vattnets hastighet genom ett enhetsstrålrör vid 0,7 MPa är

$$\sqrt{2 \cdot 0,7 \cdot 10^6 / 1000} = 37 \text{ m/s.}$$

Flödet kan sedan bestämmas genom att de två uttrycken kombineras.

$$q = c \cdot \sqrt{\frac{2p_1}{\rho}} \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Om både tryck och flöde är känt, kan utströmningskoefficienten beräknas.

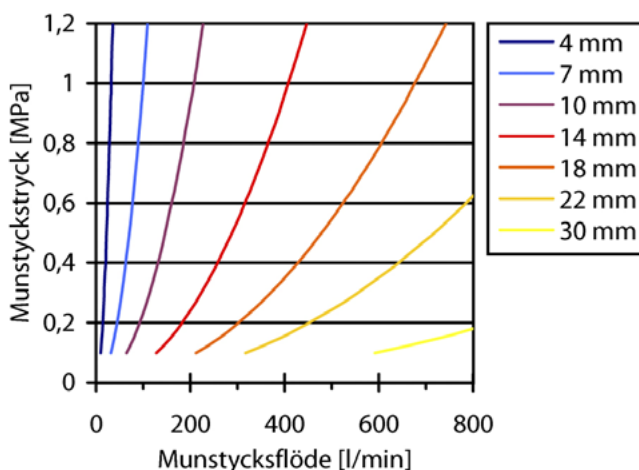
Vid tester med skärsläckare uppmättes flödet 50 l/min ($0,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) vid 18 MPa munstyckstryck. Munstycksdiametern var 2,6 mm (0,0026 m). Vattnets hastighet blir

$$v = \sqrt{2 \cdot 18 \cdot 10^6 \text{ Pa} / 1000 \text{ kg/m}^3} = 190 \text{ m/s}$$

Då blir utströmningskoefficienten

$$c = \frac{4q}{v\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{190 \text{ m/s} \cdot 3,14 \cdot 0,0026^2 \text{ m}^2} = 0,82$$

Redan vid så lågt tryck som 0,47 MPa blir vattnets hastighet 110 km/h (30 m/s).



2.63 Flödet ur ett munstycke varierar med trycket och munstycksdiametern (efter data ur Herterich, 1960).

Munstycksformeln

Ekvationen kan förenklas genom att man samlar ihop alla konstanter för beräkning av flödet. Utströmningskoefficienten är normalt cirka 0,99 för helt slutna strålar från strålrör utan särskilda förluster. Vattnets densitet är cirka 1 000 kg/m³. Med dessa värden och ett byte från SI-enheter till l/min fås den så kallade munstycksformeln, som stämmer väl överens med experimentella data (Herterich, 1960). (Med trycket angivet i MPa blir konstanten 2,1 istället.)

$$q = 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{p} \cdot d^2$$

q [l/min] flöde
 p [Pa] munstyckstryck
 d [mm] munstycksdiameter

Flödet genom ett 10 mm strålrör vid 0,7 MPa ges av munstycksformeln till

$$q = 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{0,7 \cdot 10^6} \cdot 10^2 = 175 \text{ l/min.}$$

Att flödet ändras med munstycksdiametern i kvadrat förklarar greningsregeln för enhetsstrålrör. Greningsregeln säger exempelvis att en 14 mm stråle ger lika mycket vatten som fyra 7 mm strålar. Tvärsnittsytan för den större strålen är ju lika stor som ytorna för de fyra små tillsammans.

Om systemkurvan ska bestämmas för ett system finns skäl att vända på formeln.

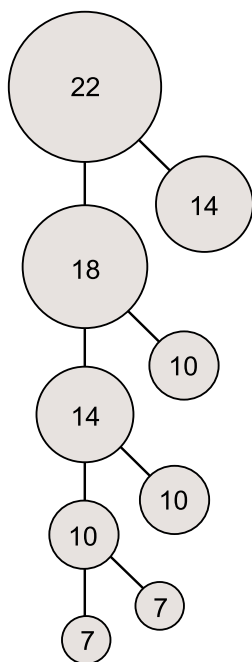
$$p = \left(\frac{q}{2,1 \cdot 10^{-3} \cdot d^2} \right)^2$$

Även om inte munstycket har ett cirkulärt tvärsnitt kan sambandet användas. För ett tallriksstrålrör kan en fiktiv diameter

d [mm]	q [l/min]
7	75
10	150
14	300
18	500
22	750

2.64 Ungefärliga flöden ur olika munstycken vid 0,6 MPa. En ökning eller minskning av trycket med 0,1 MPa ger motsvarande förändring av flödet med cirka 10 %, 0,2 MPa ger cirka 20 % förändring.

En vattenkanon monterad på en tankbil levererar 2 000 l/min. Om tankbilen rymmer 8 000 l, kommer vattnet att räcka i fyra minuter.



2.65 Greningsregeln för enhetsstrålrör.

beräknas om sambandet mellan tryck och flöde är känt. Det gäller dock endast om strålröret saknar tryckreglering och utanför reglerområdet för tryckreglerade strålrör. Genom att vända på uttrycket blir denna diameter

$$d = \sqrt{\frac{q}{2,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{P}}}$$

Med kunskap om den fiktiva diametern kan icke tryckreglerade strålrör och strålrör där trycket är utanför reglerområdet, behandlas precis som enhetsstrålrören i beräkningar. Detta är orsaken till att de slutna strålarna behandlas så utförligt, trots att de sällan är lämpliga i brand-släckningssammanhang.

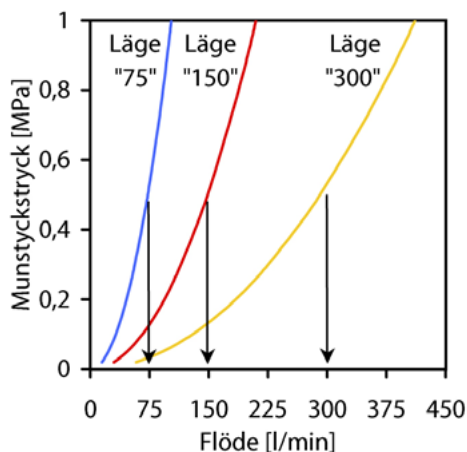
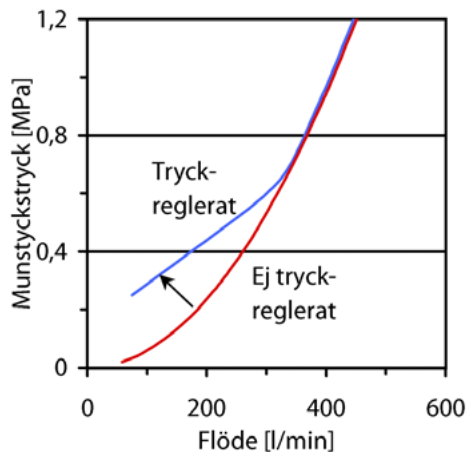
Vid en brand används två strålrör, utan tryckhållningsautomatik och med ekvivalent munstycksdiameter om 7 mm och munstyckstrycket är 0,6 MPa. Strålrören ger därmed 75 l/min vardera. Om 1 000 l vatten finns kvar i tanken när slangsystemet är fyllt, räcker vattnet i drygt 6 minuter.

Flödes- och tryckreglerade strålrör

Vissa strålrör har en steglös inställning av flödesmotståndet i avstängningsventilen så att flödet kan varieras. Andra har förinställda lägen, exempelvis 100 och 300 l/min vid ett särskilt referensstryck. Ibland ger strålrören olika flöde beroende på hur strålbilden ställts in.

Vissa dimstrålrör har en flödesreglering som fungerar som trappor på ett enhetsstrålrör. Genom att vrida på en ring på strålröret kan flödesmotståndet regleras på ungefär samma sätt som genom att trappa av eller på ett enhetsstrålrör. På ringen finns ett referensflöde angivet, exempelvis 115, 230 och 345 l/min. Detta flöde gäller vid referensstrycket, på samma sätt som ett 7 mm munstycke till ett enhetsstrålrör ger 75 l/min, men endast under förutsättningen att ingångstrycket är 0,6 MPa.

Vissa tillverkare förser strålrören med tryckautomatik. Då sitter en fjäder i strålröret som reglerar öppningens storlek så att munstyckstrycket blir konstant. Fördelen med detta är att strålbilden blir oberoende av trycket. Kastlängden blir exempelvis lika och strålbilden ser likadan ut. Däremot förändras munstyckets flöde mycket och detta utan att strålens utseende förändras. Det blir därmed svårt att få en känsla för hur mycket vatten som egentligen används.



Genom att sätta in en strypning kan lågt ingångstryck kompenseras, däremot går det inte att kompensera ett lågt flöde. Ju lägre ingångstryck, desto mindre vatten strömmar igenom strålröret. Är trycket alltför lågt stängs flödet helt, medan ett strålrör utan tryckautomatik ger ett litet flöde med ett lågt tryck.

Med tryckautomatik kommer fjädern att strypa flödet så mycket att strålröret blir oanvändbart om ingångstrycket är för lågt. Det finns därför strålrör med tryckautomatik där trycknivån kan ställas om. De är tänkta för användning i höga byggnader med lågt vattentryck. Omställningen innebär att fjäderbelastningen i tryckregleringen justeras. I praktiken fungerar denna typ av strålrör för dubbelt tryck likadant som strålrör med en ring för flödesreglering. Här finns i stället en inställning för exempelvis 0,3 eller 0,6 MPa i ingående tryck.

Tryckautomatiken innebär att strålrör kan få helt olika förhållande mellan tryck och flöde. Ibland är detta möjligt att uttrycka som en ekvation, ibland inte. Då krävs ett diagram där avläsningen kan göras.

Tryckintervallet där tryckautomatiken verkar kallas för strålrörets reglerområde. Ett strålrör med tryckautomatik följer sambandet i munstycksformeln utanför detta område, då tryckhållningsfjädern nått sitt bottenläge. Reglerområdet för Fog-fightern som dominerade svensk räddningstjänst på 1990-talet är upp till 0,6 MPa munstyckstryck. Med tryck över detta ger strålröret en ekvivalent munstycksdiameter om knappt 8 mm i sitt 100-litersläge och 14 mm i 300-litersläget.

2.66 (ovan till vänster)
Ett strålrör med flödesreglering ger olika flöde beroende på regelagets inställning. Referensflödet avser flödet vid ett bestämt munstyckstryck.

2.67 (ovan till höger)
I ett strålrör med tryckautomatik stryps flödet för att hålla upp trycket och kastlängden. Då flödet minskar, minskar också strömningsförlusterna i slangen. Trycket minskar alltså inte linjärt.

Flöden ur rör

Det går att uppskatta flödet ur en friflödande brandpost, eller ur en slang utan munstycke. Uppskattningen förutsätter att strålen hålls samlad och att luftmotståndet kan försummas. Då påverkas strålen endast av gravitationen och ger en kastparabel. Ju bättre strålen hålls samlad, desto bättre stämmer uppskattningen. Vattenflödet ur ett rör är hastigheten gånger tvärsnittsytan,

$$q = v \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

q [m³/s] flöde
 v [m/s] utloppshastighet
 d [m] utloppsdiameter

Samtidigt ingår hastigheten i kastparabeln, se t.ex. Ingelstam (1993) eller Björk m.fl. (1998)

$$-z = l \tan \alpha - \frac{gl^2}{2v^2 \cos^2 \alpha}$$

z [m] kasthöjd
 l [m] kastlängd
 α [°] kastvinkel
 g [m/s²] gravitationskonstant, 9,81

Om flödet strömmar ut horisontellt, blir $\alpha = 0$ och uttrycket avsevärt enklare,

$$-z = \frac{gl^2}{2v^2}$$
$$v = \sqrt{\frac{gl^2}{2z}}$$

Minustecknet framför z beror på att kastparabeln förutsätter att något kastas uppåt, och inte faller nedåt som här. Uttrycket kombineras med vattnets hastighet, varefter flödet kan lösas ut.

$$q = \sqrt{\frac{gl^2}{2z}} \frac{\pi d^2}{4}$$

Med lämpliga konstanter, fås ett uttryck som kan användas om bara utloppsdiameter samt höjd och längd på en horisontell stråle är kända.

$$q = \frac{1,7ld^2}{\sqrt{z}}$$

Vid länspumpning strömmar vatten horisontellt ur en normalkoppling med 63 mm innerdiameter. Fallhöjden är 1,0 m och avståndet till nedslagsplatsen är 2,0 m. Flödet blir därmed $1,7 \cdot 2,0 \cdot 0,063^2 \cdot 1,0^{-0,5} = 0,013$ m³/s eller 800 l/min.

Beräkning av reaktionskrafter

För en stråle kan reaktionskraften bestämmas enligt Newtons andra lag till

$$R = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{dm}{dt} \cdot v + \frac{dv}{dt} \cdot m$$

Med förutsättningen att tillståndet är stationärt, blir den sista termen noll och uttrycket kan förenklas och utvecklas

$$R = \dot{mv} = c\rho A v^2 = c\rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{2p}{\rho} = 0,5c\pi d^2 p$$

R [N] reaktionskraften från strålröret

m [kg/s] vattenflöde

v [m/s] vattenhastighet

c [-] utströmningskonstant

ρ [kg/m³] densitet

A [m²] munstyckets tvärsnittsyta

d [m] munstycksdiameter

p [Pa] munstyckstryck

Den beräknade reaktionskraften förutsätter en helt sluten stråle och blir därför den största tänkbara. Är strålen spridd, kommer reaktionskraften att bli sammansatt av ett antal krafter som är riktade snett åt sidorna. Dessa sidokrafter kommer delvis att motverka varandra, vilket innebär att den faktiska reaktionskraften minskar.

Kraften från strålröret orsakar ett vridmoment. Det beräknas som kraften gånger hävarmens längd

$$M = Rl$$

Vridmomentet måste balanseras av ett motsvarande vridmoment från tyngden hos den som håller i strålröret.

Reaktionskraften för en sluten stråle från ett 22 mm strålrör vid 0,6 MPa tryck och om c antas till 0,96 blir $R = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 3,14 \cdot 0,022^2 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \text{ N} = 440 \text{ N}$. Denna kraft motsvarar en vikt av 44 kg.

Om en brandman håller strålröret på 1,3 m höjd orsakar kraften från strålröret ett vridmoment som är $440 \cdot 1,3 = 570 \text{ Nm}$. Detta måste brandmannen balansera med ett motriktat vridmoment. En brandman som väger 100 kg ger en nedåtriktad kraft om 981 N. För att ge samma vridmoment, fast åt andra hållet, måste hävarmen vara $570 / 981 = 0,58 \text{ m}$. Brandmannen måste alltså ha en fot 60 cm bakom sin tyngdpunkt för att kunna stå kvar.



2.68 Reaktionskraften gör att större manuella strålrör, exempelvis back-upstrålrör eller som här ett slätborrat munstycke, bör manövreras av två personer. I annat fall kan det stora vattenflödet inte utnyttjas särskilt effektivt. (Monument i London över brandmän som dog i tjänsten under andra världskriget).

Reaktionskrafter i munstycken

Reaktionskraften kan bli avsevärd för stora strålrör och vattenkanoner. Därför måste vattenkanoner ha ett stabilt underlag och en slangdragning som stabiliserar kanonen. Utan detta kan vattenkanonen lättas från underlaget eller välta. För en vattenkanon monterad på ett höjdfordon blir reaktionskrafterna lika stora som för en markbaserad kanon. Om reaktionskraften får fel riktning, eller om kanonen öppnas eller stängs hastigt, kan fordonets stabilitet äventyras om stegen eller hävarmen har full utligning.

Vid släckning från skarv- eller utskjutsstege bör endast smalslang och mindre strålrör användas på grund av reaktionskraften och risken för tryckstötter. Vid släckning från stega, ska stegen förankras i toppen. Strålföraren klättrar upp med tom slang och förankrar strålröret och även sig själv i stegen. Först därefter fylls slangen försiktigt och strålröret kan börja användas. Behövs grövre slang och strålrör, med ett högre flöde än cirka 100 l/min vid 0,6 MPa, bör släckning i stället ske från höjdfordon eller liknande. Om en fast monterad kanon används, måste den manövreras manuellt för att ge bästa släckeffekt.

Om två större strålar försörjs från samma källa måste de öppnas och stängas med stor försiktighet. Om båda strålrören är öppna och det ena stängs, kommer vattentrycket och flödet att öka i det andra och dess strålförare riskerar att tappa kontrollen över sitt strålrör.

Flöden i slangsystem

När slangsystemets alla komponenter är kända kommer den viktigaste punkten, nämligen att sätta ihop delarna till en helhet. Pump, slang och strålrör måste väljas så att de ger en bra lösning tillsammans. Denna lösning måste dessutom svara mot det behov som finns.

Tryckbegränsningar i slangsystemet

Trycket i slangsystemet regleras av pumpskötaren så att munstyckstrycket blir det önskade till den valda utrustningen. Olika komponenter ger olika begränsningar i brandvattensystemet.



Den nedre begränsningen sätts normalt av det tryck som munstycket kräver. Det tryck slangarna tål, och ibland pumpens kapacitet, sätter den övre begränsningen. Bland textilslangarna har grovslang ett högsta arbetstryck om 1,5 MPa och ett minsta sprängtryck om 3,5 MPa. Manöverslang har samma arbetstryck, men sprängtrycket är något högre, 4,5 MPa. Grövre transportslang har ett högsta arbetstryck om 1,2 MPa och ett minsta sprängtryck om 3,0 MPa (SS 2840, 1987). Högsta arbetstryck för grenrör och annan armatur är normalt högre; 2,0 MPa.

Vid brandsläckning är 1,0 MPa ett lämpligt högsta tryck på pumpen. Om risken för tryckstöt är liten och slangens smal, kan trycket ökas, dock aldrig över högsta arbetstrycket. Om å andra sidan risken för tryckslag är stor eller slangens grov, kan trycket behöva minskas.

Andra system kan ha andra arbetstryck, exempelvis högtryckssystem med 2–4 MPa tryck, eller specialutrustning med över 20 MPa arbetstryck.

Vid användning av en pump med kombinerat låg- och högtryck, ställs önskat tryck in på högtryckssidan, dock inte så att det blir för högt på lågtryckssidan.

2.69 Brandpost, pump, slang och strålrör utgör en helhet. Dessutom måste vattnet hamna på rätt plats.

Tryckstöt

Ett slangsystem kan innehålla tonvis med vatten som är i rörelse. Om en ventil, till exempel i ett strålrör, stängs snabbt innebär det att vattenmassan tvärstannar mot den stängda ventilen. Det krävs ett arbete för att hejda vattenmassan. Detta arbete kan beräknas som kraften gånger stoppsträckan. Ju snabbare ventilen stängs, desto kortare blir vattnets stoppsträcka och desto större blir den kraft som krävs. Kraften styrs också av hur stor massa som är i rörelse och vattnets hastighet i slangen. Ju mer vatten som tas ut, desto större blir rörelsemängden och desto större kraft krävs för att hejda vattnet.

Vatten som studsar mot den stängda ventilen ger en tryckstöt genom hela systemet. Ju större vattenflödet är och ju snabbare ventilen stängs, desto större blir tryckstöten. Tryckstötter är lätta att undvika genom att stänga framförallt kulventiler och strålrör långsamt. Det bör ta ungefär en sekund att stänga ventilen.

Tryckstötarna dämpas ut genom att slangen är elastisk och kan töja ut sig något. Ju fler slangar som används, desto bättre blir dämpningen. I metallrör å andra sidan, är väggarna inte elastiska och systemet är därmed känsligare för tryckstötter.

Om snabba pulsationer används som släckteknik blir trycksvängningarna stora i slangarna. Vid mätningar på ett system bestående av ett slangutlägg för rökdykarinsats, uppmättes tryckskillnader på 1,2 MPa mellan högsta och lägsta tryck under tryckstöten. Vid försöken användes ett dimstrålrör och pumptrycket var 1,2 MPa. Vid pumpen hade tryckskillnaden dämpats till 0,15 MPa mellan högsta och lägsta tryck (Nystedt, 1994).

Vid arbetet på en brandplats stängs och öppnas ett 14 mm strålrör så hastigt att det bildas en tryckstöt i slangen. Trycket ökar till 1,0 MPa, minskar till 0,2 MPa och återgår sedan till det ursprungliga 0,6 MPa. Kraftändringen blir då $dR = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 3,14 \cdot 0,014^2 \cdot (1,0 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6) \text{ N} = 240 \text{ N}$. Det är som att fånga en tjugofemkilos säck cement.

Tryckstötter innebär två huvudrisker. Den viktigaste är att tryckstötter kan fortplanta sig vid slangförgreningar och ge en oväntad kraft i andra strålrör i systemet. Exempelvis kan en strålförare på en stege bringas ur balans. Det andra skälet att

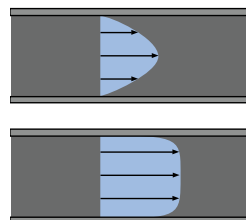
Stäng alltid strålröret långsamt för att undvika tryckstötter.

undvika tryckstötar är att skona utrustningen. Tryckstötar kan ge tryck högre än slangarna klarar av, vilket ökar risken för slangbrott. När vatten tas från öppet vattentag kan trycket som fortplantar sig bakåt i slangsystemet bli så högt att det överstiger pumptrycket och skapar övertryck i sugslangen, varvid backventilen slår igen och sugslangen kan slitas av.

Laminär och turbulent strömning

Ett laminärt flöde i en slang innebär att hastigheten hos den strömmande vätskan varierar mycket mellan olika punkter som ligger nära varandra i slangens tvärsnitt. Det blir då ingen tvärhastighetsövergång vid slangväggen och strömningsförlusterna blir små. Alla partiklar rör sig i jämna, parallella banor.

Motsatsen är ett turbulent flöde, som kännetecknas av virvelbildning och oregelbundna strömbanor. Genomsnittshastigheten hos vattnet är då i stort sett lika över hela profilen. Vid slangväggen blir hastighetsskillnaden stor. Vad som ibland kallas friktionsförluster i slangar består i själva verket ungefär till 90 % av strömningsförluster beroende på att strömningen är turbulent. Endast cirka 10 % av tryckförlusten utgörs av friktion mellan vatten och slang. Vid normal användning av räddningstjänstens slangar är strömningen alltid turbulent, vilket tyvärr ger stora förluster i slangtryck.



2.70 Hastighetsprofilen är olika i en slang med laminär respektive turbulent strömning.

Reynolds tal

Reynolds tal är en dimensionslös parameter som avgör om ett flöde är laminärt eller turbulent. Strömningen är laminär upp till Reynolds tal cirka 2 100. Är Reynolds tal 100 000 eller mer är vattnets strömning klart turbulent. Reynolds tal beräknas som

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

v [m/s] strömningshastighet
 d [mm] slangdiameter
 ν [m²/s] kinematisk viskositet

Den oprecisa bestämningen av om flödet är laminärt eller turbulent beror på att hastigheten hos ett turbulent flöde måste minskas kraftigt för att flödet ska stabiliseras, därav den undre gränsen. Ett laminärt flöde som successivt ges ökad hastighet kan däremot förbli laminärt även vid ganska

höga hastigheter, därav den övre gränsen. Då krävs en mycket liten störning för att flödet ska slå över till turbulent. Reynolds tal ligger i brandslang normalt mellan 100 000 och 500 000.

Det största säkert laminära flödet som kan fås i en 42 mm slang kan beräknas genom att Reynolds tal vid övergången till laminärt flöde är känt
 $v = \text{Re } \nu / d = 2100 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} / 0,042 = 0,050 \text{ m/s}$

Detta ger flödet

$q = v \cdot A = 0,050 \cdot \pi \cdot 0,042^2 / 4 = 0,000069 \text{ m}^3/\text{s}$, alltså 4 l/min.

Strömningsförluster i slangar

Grundprincipen för brandvattenhydraulik är att korta, tjocka ledningar tillåter större vattenmängd, vilket medger större munstycken och fler strålar. Långa och smala ledningar ger mindre flöde och medger mindre munstycksdiameter och färre strålar.

En normal brandpump ger ca 1,0 MPa tryck. En högtryckspump ger kanske 4 MPa. Den extra tryckhöjningen kan användas till att antingen ge en tunnare och smidigare slang med större förluster, att ge större kastlängd, eller att ge mindre vattendroppar. En skärsläckare med 20 MPa i tryck kan ge mycket små vattendroppar med hög hastighet.

Förlusterna går också att beräkna. I själva slangens kan förlusterna bestämmas med hjälp av Darcy-Weisbachs ekvation. De faktorer som ingår är framförallt flödeshastigheten, men också slangytans struktur, slangens längd och diameter. Den sista faktorn känns igen från Bernoullis ekvation.

p_f [Pa]	tryckförluster i slang
f [-]	slangens förlustfaktor
l [m]	slangens längd
d [m]	slangens diameter
v [m/s]	vattenhastigheten
ρ [kg/m ³]	densitet
ε [m]	sandråhet

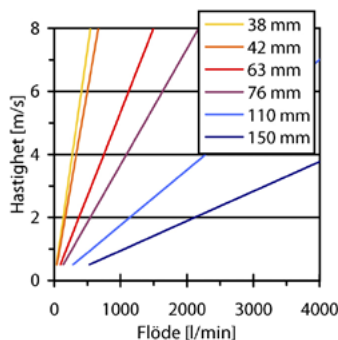
$$p_f = f \cdot \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

För att få en jämförelse mellan olika ytors skrovlighet används begreppet sandråhet. Begreppet kommer från experiment där sandkorn med känd storlek klistrats på insidan av rör. Sedan mättes strömningsförlusterna i röret och jämfördes med motsvarande förluster i rör av olika material. Om slangens diameter och vattnets hastighet är känd, kan Reynolds tal beräknas

och tillsammans med förhållandet mellan ytråhet och slangdiameter, ges förlustfaktorn ur ett Moody-diagram. Flödet i brandslang är i stort sett alltid turbulent. I de fall där beräkningen ska göras för laminära flöden är alltid förlustfaktorn $f = 64/Re$.

I en ny brandslang är ϵ/d i storleksordningen 0,0001, efter beräkningar med utgångspunkt från tryckförlustmätningar på 38, 42 och 150 mm slang inklusive kopplingar (*Tryckfall i Setex brandslang*, 1995; Gustavsson, 1995). Vid ett flöde om 300 l/min i en 38 eller 42 mm slang, blir f ungefär 0,017. Om 1000 l/min strömmar genom en 110 mm slang, blir f knappt 0,015. Vid dessa flöden är vattenhastigheten 3–4 m/s, vilket är det normala vid användning av lågtrycksslang.

I förlustfaktorn för slang är kopplingen inberäknad. För en 38 mm slang står klokopplingen för ca 7 % av förlusten för en 25 m slang. Den relativa förlusten i kopplingen för en 42 mm slang, där i stort sett samma koppling används, blir större, ca 14 % av slangens totala förlust (efter data ur *Tryckfall i Setex brandslang*, 1995). Kopplingens utformning är med andra ord inte oväsentlig vad tryckförlusterna beträffar. Packningen som sitter i dessa kopplingar har en V-formad insida. Det beror på att kopplingens insida ska vara så slät

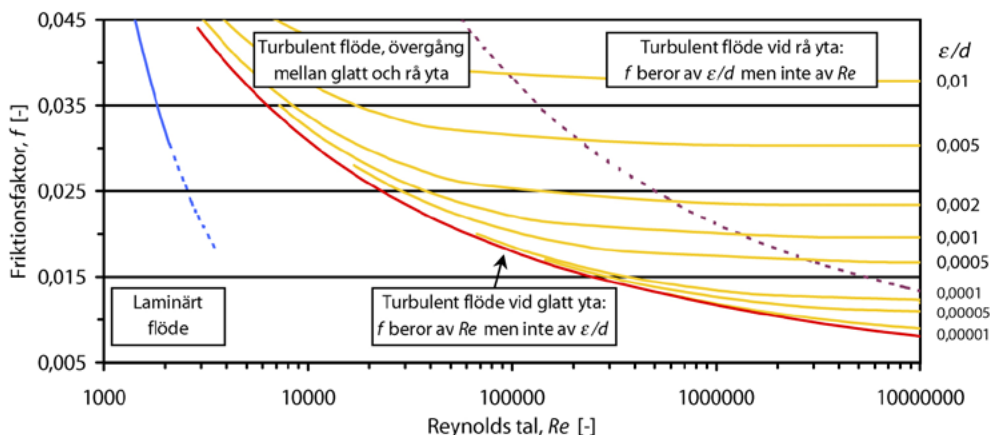


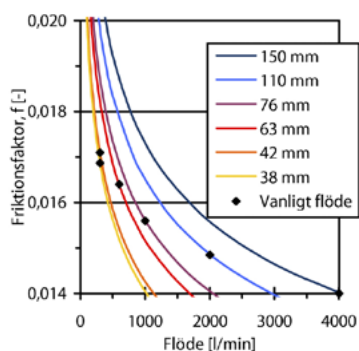
Rörmaterial	Sandråhet, [mm]
Betong	0,3–3,0
Gjutjärn	0,25
Galvaniserat järn	0,15
Stål	0,046
Plast	0,0015

2.71 Sandråhet hos olika rörtyper.

2.72 (till vänster) Vattenflöde och slangdimension avgör vattnets hastighet. Strömningsförlusterna ökar med hastigheten i kvadrat.

2.73 (nedan) f , friktionsfaktorn kan bestämmas ur ett Moodydiagram.





Slangdiameter [mm]	k-värde [min ² Pa/l ² m]	referensflöde [l/min]
38	$48 \cdot 10^{-3}$	300
42	$29 \cdot 10^{-3}$	300
63	$3,7 \cdot 10^{-3}$	600
76	$1,4 \cdot 10^{-3}$	1 000
110	$0,21 \cdot 10^{-3}$	2 000
150	$0,044 \cdot 10^{-3}$	4 000

2.74 (till vänster) Med antagandet om att e/d i brandslang är i storleksordningen 0,0001, kan f bestämmas för olika slang och flöden. Markeringen anger vanliga flöden i slangar av olika dimension.

2.75 (till höger) k -värde för olika slangdiameter.

p_f [Pa] tryckförlust
 ρ [kg/m³] densitet
 q [m³/s] vattenflöde
 d [m] slangdiameter
 A [m²] slangens tvärsnittsyta

k [min²Pa/l²m] slangens förlustkonstant

q [l/min] vattenflöde

som möjligt när slangen kopplats och packningen pressats ihop. Packningen illustrerar detaljernas betydelse och visar att även äldre utrustning kan moderniseras. Genom att byta en slät packning av äldre modell mot en ny med V-formad insida, får den gamla kopplingen ungefär samma prestanda som en helt ny, till en obetydlig kostnad.

Vattnets hastighet är inte alltid känd, men eftersom flödet går att ta reda på kan förlustuttrycket skrivas om.

$$p_f = f \cdot \frac{l}{d} \frac{\rho(q/A)^2}{2} = f \cdot \frac{l}{d} \frac{\rho q^2 16}{2\pi^2 d^4} = \frac{8f\rho}{d^5 \pi^2} l \cdot q^2$$

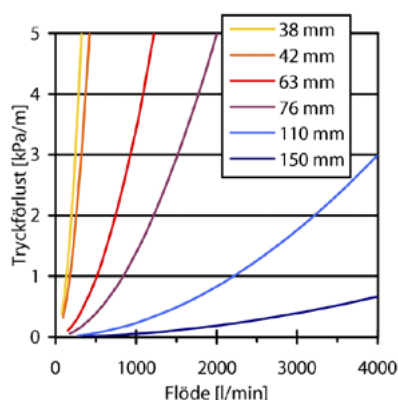
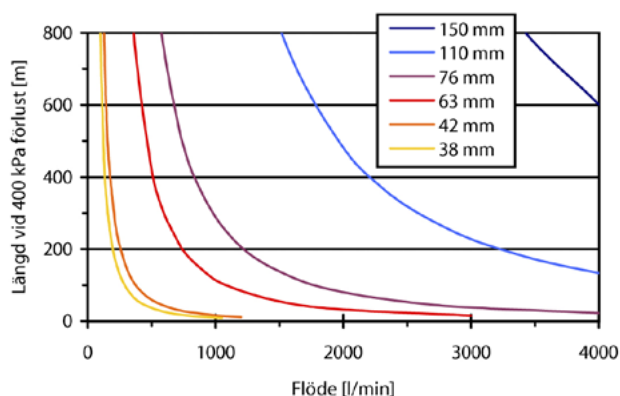
Genom att slå ihop alla konstanter fås slangens k -värde, som gäller för respektive slangdimension vid ett särskilt referensflöde. Observera att detta är något annat än K -faktorn för munstycken.

$$k = \frac{8f\rho}{d^5 \pi^2} \cdot \frac{1}{60000^2}$$

Den sista delen av uttrycket kommer från bytet av enhet för flöde från m³/s till l/min. Uttrycket ger ett smidigt sätt att beräkna slangförluster.

$$p_f = k l q^2$$

I k -värdet återspeglas bland annat slangens diameter och beläggning. Om flödet avviker mycket från referensflödet, om slangen är sliten eller om slangdimensionen är speciell, beräknas förlusterna med hjälp av friktionsfaktorn.



k -värdet $48 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2\text{Pa} / \text{l}^2\text{m}$ innebär att en 100 m lång slang med flödet 100 l/min ger 48 kPa i tryckförlust.

Ekvivalent slanglängd för de olika slangdimensionerna kan beräknas genom att dela k -värdena med varandra. En meter 38 mm slang ger alltså lika stora strömningsförluster som $48 \cdot 10^{-3} / 1,4 \cdot 10^{-3} = 34 \text{ m}$ 76 mm slang

Tryckförlusterna påverkas av hur slangen är dragen. De angivna slangförlusterna förutsätter en rak slang. Enstaka veck på slangen kan ge lika stora tryckförluster som hela förlusten i en rak slanglängd. Veck på slangen uppkommer lättare vid låga arbetstryck än vid höga.

Normalt är munstyckstrycket ca 0,6 MPa och pumpstrycket 1,0–1,2 MPa. Då kan 0,4 MPa gå åt till strömningsförluster. Med en 38 mm slang och förlusten 4,3 kPa/m vid 300 l/min blir den största längden knappt 100 m. Med 42 mm slang och 2,7 kPa/m i förlust blir slangen 150 m som längst. Om slangdimensionen är 76 mm och flödet 1 000 l/min blir förlusten 1,4 kPa/m och den möjliga längden nästan 300 m.

Vid seriepumpning med två lika pumpar placeras den andra på 2/3 avstånd till brandplatsen från vattentaget. Då kan 1,0 MPa hos den första och 0,4 MPa hos den andra pumpen utnyttjas till strömningsförluster. Den totala längden blir då ungefär tre gånger avstånden i föregående exempel.

2.76 Tryckförlust per meter, beroende på slangdiameter och vattenflöde.

2.77 Slanglängd vid 0,4 MPa i förlust vid olika flöden. Ju mindre flöde som önskas, desto längre slang kan användas.

Veck på slangen ger stora tryckförluster och ska undvikas.

2.78 En kort, smal slang ger lika stora tryckförluster som en lång och tjock slang. Vid samma flöde ger 25 m 42-slang samma tryckförlust som drygt 500 m 76-slang.



Hazen-Williams ekvation

Nackdelen med att räkna med Darcy-Weisbachs ekvation är att friktionsfaktorn och därmed flödesberäkningen tyvärr beror av vattnets hastighet. En snarlik ekvation, Hazen-Williams ekvation, används vid sprinklerdimensionering (SBF 120:8, 2016), men kan i princip även användas vid bestämning av strömningsförluster i brandslang.

$$p_f = 6,05 \frac{l q^{1,85}}{C^{1,85} d^{4,87}} \cdot 10^4$$

p_f [MPa] tryckförlust
 l [m] slanglängd
 q [l/min] flöde
 d [mm] slangdiameter
 C friktionsförlustfaktor enligt
 Hazen-Williams

Uttrycket är empiriskt framtaget och faktorn C är en konstant som varierar med slangens ytstruktur. För ny brandslang kan C sättas till ungefär 150, beräknat ur experimentella data med förluster över kopplingen inräknade (Tryckfall i Setex brandslang, 1995; Gustavsson, 1995). Konstanten är oberoende av slangdimensionen och tar endast hänsyn till slangens yta. Diametern kommer med för sig.

Om de två sätten att beräkna tryckförluster jämförs, syns att det är i stort sett samma faktorer som ingår och att det är exponenter och konstanter som skiljer.

Dubblerad ledning

Vid de situationer där vattnet ska transporteras långa sträckor, eller där flödet är stort, finns alltid skäl att överväga en dubblering av ledningen. Dubblerad ledning ger extra arbete i insatsens inledningsskede, men lönar sig ofta i längden.

Flödet i slangar ställer alltid in sig så att förlusterna mellan två punkter i systemet är lika, oavsett väg. Om en ledning dubblas för att öka flödet, exempelvis genom användning av grenrör och byxrör, kommer tryckförlusterna därför att bli lika stora, oavsett vilken av de två vägarna som vattnet tar. Summan av de båda flödena är:

$$q = q_1 + q_2$$

Det totala flödet blir därmed

$$q = \sqrt{\frac{p_f}{k_1 l}} + \sqrt{\frac{p_f}{k_2 l}} = \sqrt{p_f} \left(\sqrt{1/k_1 l} + \sqrt{1/k_2 l} \right)$$

En dubblerad ledning ger alltid mindre tryckförluster än en enkelledning. Om dubblerad slang av samma dimension används, går hälften av flödet i vardera slangen och flödes hastigheten i slangen halveras vid samma totala uttag. Flödesförlusterna minskar däremot till en fjärdedel eftersom tryckförlusten beror av hastigheten i kvadrat.

Mellan två byxgrenrör dras en 40 m 76 mm grovslang parallellt med en 40 m 38 mm smalslang. Om vattnet går via grovslangen visar mätningar att förlustfaktorn för grenrör, 40 m slang och byxrör blev totalt $4 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2$. För grenrör, övergånskoppling, 40 m smalslang, övergånskoppling och byxrör blev förlustfaktorn totalt $145 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2$. Om det totala flödet är 1 000 l/min kan den totala förlusten beräknas till 0,12 MPa. Denna tryckförlust är lika i båda ledningarna. Flödet blir 860 l/min i grovslangen och 140 l/min i smalslangen.

Vid dubblerad ledning blir flödesberäkningarna som för en enkel ledning med halva totalflödet.

Lokala förluster

Det finns även andra delar av ett rörsystem som ger tryckförluster. Dit hör krökar, ventiler m.m. Vid de slangsystem som räddningstjänsten använder kan dessa förluster vara betydande.

Vid ändring av vattenströmmens diameter, exempelvis vid strömning från en tank till ett rör, eller genom en övergångskoppling, är förlusterna ofta försumbara. Om utformningen är olycklig kan de vara lika stora som förlusterna i 100 m 38-slang. Detsamma gäller när vattnet passerar genom ventiler. Förlusterna beror på virvelbildningar, och dessa är större vid minskning av diametern än om diametern ökar.

I många fall är det lättast att mäta tryckfallet över en komponent vid känt flöde och därefter beräkna dess förlustfaktor. I analogi med k-faktorn för slangar kan en motsvarande k-faktor för grenrör och annan armatur tas fram.

$$k = p_f / q^2$$

Detta uttryck är i stort sett identiskt med förlustuttrycket för slang. Därmed kan förlusten i grenrör m.m. översättas till förlusten i en motsvarande slanglängd. Begreppet ekvivalent slanglängd kan användas för denna översättning från punkt-förluster till motsvarande slanglängd.

Beräkning av lokala förluster

Det är även möjligt att beräkna lokala förluster. Det görs på ett snarlikt sätt som vid beräkning av friktionsförluster i rör.

$$p_f = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

Konstanten ζ beror på vilken typ av förändring som sker i strömningen. Det finns tabellvärden för bland annat förlust vid inströmning från tank till rör, vid utströmning från rör till tank, för abrupt eller konisk minskning eller ökning av rördiametern samt för ventiler av olika modell. (Vennard & Street, 1982; Titus, 1995)

Denna typ av beräkning krävs vid konstruktionen av nya system, exempelvis för att bedöma vilken rördragning som är mest lämplig i en ny släckbil.

Komponent	k-faktor [min ² Pa/l ²]	Ekvivalent slanglängd			
		38 mm	42 mm	63 mm	76 mm
Byxrör	0,060			15	40
Grenrör gammal modell, normalkopplingsuttag	0,60			160	420
Byxrör + grenrör gammal modell, normalkopplingsuttag	0,65			180	460
Grenrör ny modell, normalkopplingsuttag	0,044			10	30
Byxrör + grenrör gammal modell + rätvinklig övergångskoppling på normalkopplingsuttag	1,08	20	40		
Byxrör + grenrör gammal modell + konad övergångskoppling på normalkopplingsuttag	0,88	20	30		
Byxrör + grenrör gammal modell, klokopplingsuttag med kulventil	0,88	20	30		
Byxrör + grenrör gammal modell, klokopplingsuttag med kägelventil	2,75	60	100		
Grenrör ny modell, smalslansuttag	0,54	10	20		
Rätvinklig övergångskoppling, grov till smal	0,43	10	15		
Konad övergångskoppling, grov till smal	0,23	5	10		
Rätvinklig övergångskoppling, smal till grov	0,27			70	200

Tryckfallet varierar med flödet. Ett grenrör med k-faktorn 0,88 min²Pa/l² ger vid flödet 300 l/min ett tryckfall om $0,88 \cdot 300^2 = 79\,000$ Pa eller knappt 0,1 MPa.

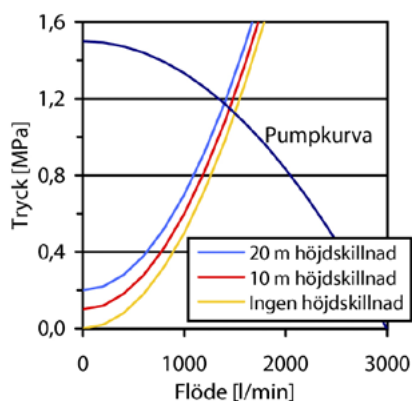
Nivåskillnader

Nivåskillnaden mellan pumpen och strålröret ger en omvandling från tryckenergi till lägesenergi hos vattnet. Om pumpen och strålröret befinner sig på olika nivå kommer höjdskillnaden att ge en tryckförlust i uppførsbacke och tryckvinst i nedførsbacke. Denna förlust eller vinst kan användas direkt, eftersom den ger energiförändringen i meter vattenpelare. Till skillnad från strömningsförluster i övrigt, varierar förlusten vid nivåskillnader inte med flödet.

Tryckförändringen är 0,01 MPa per höjdmeter. Det innebär att ett strålrör på 10 m höjd över pumpen behöver 0,1 MPa

2.79 Experimentellt uppskattade förluster och slanglängden de motsvarar för olika komponenter. Observera att värdena endast är ungefärliga.

2.80 Systemkurvan flyttas i höjded om det tillkommer en nivåskillnad mellan pump och strålrör.



högre tryck från pumpen för att ge samma strålbild och flöde som ett strålrör på marken.

Om strålröret befinner sig under pumpen blir höjden och därmed tryckförlusten negativ. Då ger höjdskillnaden ett energitillskott och en tryckvinst. Vid kartläggning av möjliga uppställningsplatser för motorsprutor och tankbilar finns därmed skäl att studera topografin och välja uppställningsplats för pump så att höjdskillnaderna utnyttjas.

Slangutläggning som system

Det snabbaste sättet att bygga upp ett slangsystem för en rökdykarinsats är att använda slang, kopplad direkt till släckbilen. I vissa fall finns ett färdigkopplat system, antingen med formstyv slang på centrumrulle, eller ett färdigt paket med vävslang.

Antag att en 42 mm manöverslang åt rökdykargruppen kopplas direkt till släckbilens tryckuttag. Med marginal för tryckstötär är 1,0 MPa lämpligt högsta utgående tryck från pumpen. Strålröret som används har ett rekommenderat munstyckstryck om 0,6 MPa och då är flödet 300 l/min enligt tillverkaren. Förlusterna i slangsystemet får därmed bli högst 0,4 MPa. Om strålföraren tillåts flytta sig 10 m uppåt sjunker de acceptabla slangförlusterna till 0,3 MPa. Längsta slanglängd blir då

$$l = \frac{0,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{29 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2 \text{ m} \cdot (300 \text{ l/min})^2} = 150 \text{ m}$$

Med andra ord innebär 6 längder 42-slang inte något hinder för det önskade flödet.

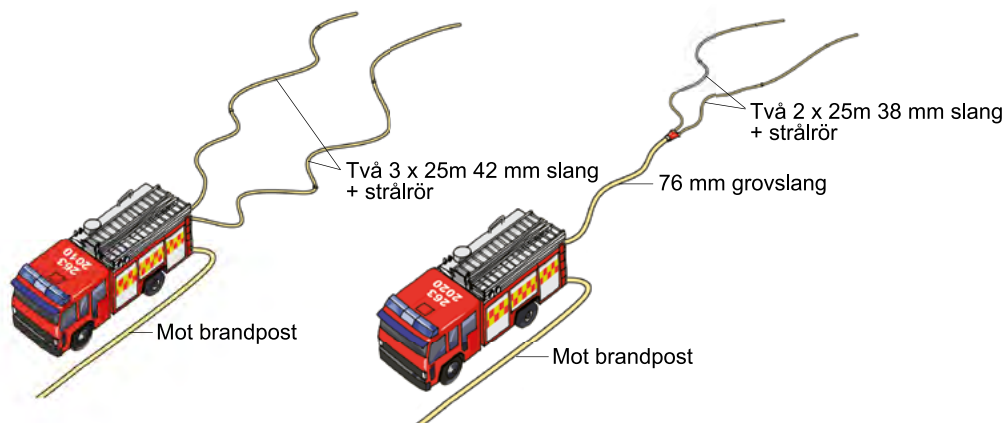
Med i övrigt samma förutsättningar, men med grovslang, grenrör och två längder 38-slang förändras den möjliga totala slanglängden. Med 50 m 38-slang blir tryckförlusten efter grenröret

$$p_f = 48 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2 \text{ m} \cdot 50 \text{ m} \cdot (300 \text{ l/min})^2 = 0,22 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Om koppling via övergånskoppling till grovslangsuttaget ger en tryckförlust om 0,08 MPa är den totala förlusten 0,3 MPa. Då är det tur att tryckförlusten i 76 mm grovslang fram till grenröret endast ger 0,0001 MPa/m i förlust, vilket är försumbart för enstaka slanglängder. Om även rökdykarmedaren öppnar sitt strålrör fördubblas flödet i slang fram till grenröret. Då ökar förlusten i denna slang till 0,0005 MPa/m.

Slutsatsen av de två exemplen är att det går utmärkt att få önskat tryck och flöde vid strålröret med slang dragen direkt från släckbilen om denna kan ställas nära branden. Förlusterna i en grov slang med litet flöde blir i stort sett försumbara. Det är i stället grenrör och smalslang som står för de stora förlusterna.

2.81 Två vanliga sätt att koppla upp slangsystemet vid rökdykarinsats. Att koppla några längder 42 mm slang direkt från släckbilen ger ett snabbt och smidigt system. Med grovslang och grenrör, varifrån två längder 38 eller 42 mm slang dras, spelar det inte så stor roll hur nära släckbilen kan placeras. Grovslangen kan vara lång utan att tryckförlusten blir alltför stor.



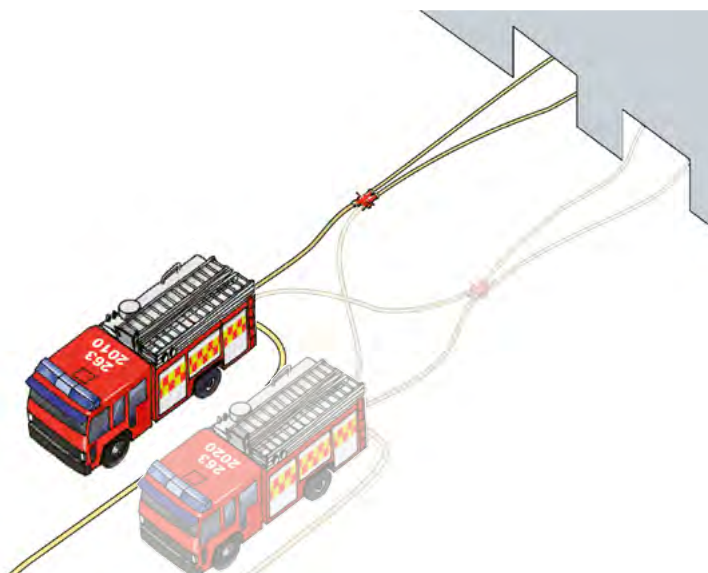
För att kunna bygga ut ett slangsystem måste strukturen vara genomtänkt från början. Vid rökdykarinsats som riskerar att växa kan följande system byggas upp med standardutrustning.

1. Matarslang dras från släckbilen till ett grenrör med byxrör vid rökdykarnas baspunkt. Därifrån dras ett par längder manöverslang till rökdykarna och en likadan slang till rökdykarledaren. En matarslang dras mellan brandpost och släckbil. Om avståndet är långt väljs en grövre slang och vid korta avstånd kan en klenare användas. Med 25 m 76-slang, grenrör med byxrör samt 50 m 42-slang, munstyckstryck om 0,6 MPa och ett strålrör som då levererar 300 l/min, blir tryckförlusten

$$p_f = (1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 1,08 + 29 \cdot 10^{-3} \cdot 50) 300^2 = 0,23 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Därmed måste pumptrycket vara minst 0,83 MPa. Grenröret står för ungefär halva slangförlusten trots att slangen är kopplad via övergångskoppling över ett normalkopplingsuttag.

2. Finns det behov av ytterligare strålrör byggs systemet ut genom att ytterligare en släckbil kopplas in. Den andra släckbilen försörjer ett nytt grenrör med byxrör via en matarslang. Finessen med byxrör är att sedan koppla ytterligare matarslang i kors mellan släckbilarna och grenrören. Den andra släckbilen kopplas till samma brandpost som den första. Det är därför som bara en slang kopplas in i det första läget. Med detta kopplingssätt har rökdykarna vattenförsörjning från två pumpar, vilket innebär att redundansen och tillförlitligheten ökar i systemet. Till det nya grenröret kan ett förstärkningsstrålrör kopplas och rökdykarledaren får därmed vid behov tillgång till ett strålrör med större vattenflöde och längre kastlängd än det vanliga. Tanken med förstärkningsstrålröret är att en övertändning som inträffar under pågående rökdykarinsats ska kunna slås ner utifrån.
3. Vid det tredje steget kopplar en skyddsgrupp in sin slang till det första grenröret, som ju har försörjning från två pumpar. Ytterligare grupper kan koppla in sig på det andra grenröret. Fullt utbyggt klarar detta system av att försörja tre strålrör vid vardera grenröret, om brandposten har tillräckligt flöde. Med tre strålrör



2.82 Utbyggbart system för vattenförsörjning vid rökdykning.

och dubblerad ledning till varje grenrör blir flödet 300 l/min per strålrör och 450 l/min i vardera matarslangen. Tryckförlusten mellan pump och strålrör blir då.

$$p_f = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 450^2 + (1,08 + 29 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cdot 300^2 = 0,234 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Tryckförlusten är alltså densamma som när en ensam stråle användes. Det största tryckfallet sker i systemets manöverslangsdelen.

Det går även ett rörsystem inne i släckbilen. Strömningsförluster i detta är orsaken till varför en fordonsmonterad pump kan ha olika kapacitet beroende på om ett uttag nära pumpen används, eller ett i andra änden på bilen.

Tryckmätaren på en pump visar trycket vid mätstället. Därför måste förlusterna fram till och med tryckuttaget också räknas in, alternativt kan tryckmätaren nollställas så att trycket avser trycket vid uttagen.

Vid en vindsbrand används två dimspik genom ett tak, uppkopplade med slang från en släckbil. Flödet är 70 l/min vid 0,8 MPa. Hur lång får en manöverslang vara om munstyckstrycket ska bli minst 0,8 MPa? En ogenad 42-slang dras fram till ett specialgrenrör, varifrån en 5 m 38-slang dras till varje dimspik. Data för förlusterna över grenröret saknas, därför görs en uppskattning. Förlusten i grenröret och framåt blir

$$p_f = (48 \cdot 10^{-3} \cdot 5 + 0,5) \cdot 70^2 = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

Förlusten är med andra ord i stort sett försumbar. Vid användning av dimspik är risken för tryckslag liten om flödet öppnas och stängs försiktigt. Därför bör ett högre tryck än normalt kunna användas. Med 1,2 MPa i pumptryck och om taket är tjugo meter högre än pumpen blir de tillgängliga slangförlusterna $1,2 - 0,8 - 0,2 - 0,0036 = 0,2 \text{ MPa}$. Den möjliga längden för den gemensamma slangen blir då

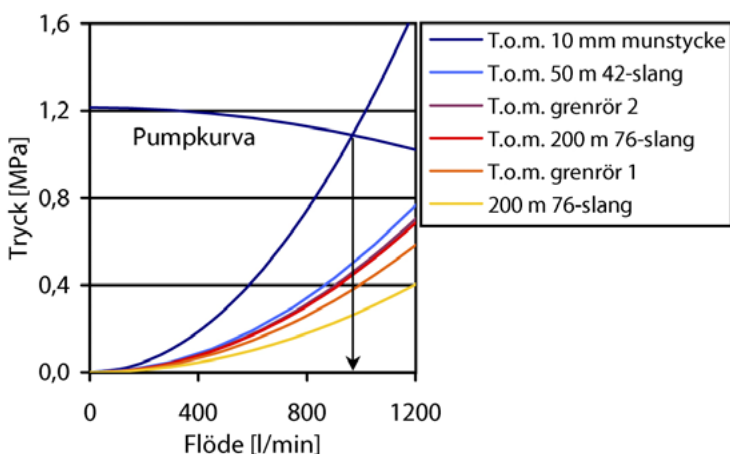
$$l = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} / (29 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2 \text{ m} \cdot (140 \text{ l/min})^2) = 350 \text{ m}$$

Detta kan tyckas långt, men orsaken ligger i det låga flödet och det höga pumptrycket. Dessutom är förlusterna i grenröret osäkra.

En brandpost levererar 900 l/min vid 0,4 MPa till en släckbil. Om 63-slang kopplas och det ingående trycket till släckbilen ska vara 0,1 MPa får den som mest ge 0,3 MPa förlust för att ge 900 l/min till släckbilen. Avståndet mellan brandpost och släckbil får då vara som mest $l = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Pa} / (3,7 \cdot 10^{-3} \text{ min}^2 \text{ Pa/l}^2 \text{ m} \cdot (900 \text{ l/min})^2) = 100 \text{ m}$. Är avståndet större, kommer flödet att bli mindre.

Brandvattensystemet är ganska förlåtande och försöker motverka förändringar. Om exempelvis strålröret flyttas upp några våningar kommer denna höjdskillnad att flytta systemkurvan uppåt. Då minskar vattenflödet. Samtidigt är övriga strömningsförluster beroende av vattnets hastighet. När vattenhastigheten minskar, blir förlusterna mindre. Samtidigt minskar flödet genom pumpen varpå pumptrycket stiger något. Detta leder sammantaget till att vattenströmmen inte minskar fullt så mycket som man skulle kunna tro. Vattenflödet ställer alltid in sig vid skärningen mellan pump- och systemkurvorna.

En begränsningslinje byggs med sex strålrör som försörjs av en klass 3-spruta vid vattentag. Från denna dras 200 m 76-slang till ett grenrör.



2.83 Systemkurva och pumpkurva för slangsystemet i exemplet.

Där grenas systemet i två lika delar, vardera bestående av ytterligare 200 m 76-slang och grenrör. Till de sista grenrören ansluts vardera tre 10 mm dimstrålrör med 25 m 38-slang. Då systemet är symmetriskt blir flödena lika i alla strålrör. Trycket från pumpen är lika med de summerade slangförlusterna och munstyckstrycket.

1. Slangförlust 200 m 76-slang, $p = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot q^2$
2. Förlust i grenrör. Härifrån går hälften av vattnet i vardera slangen, $p = 0,6 \cdot (q/2)^2$
3. Slangförlust 200 m 76-slang, $p = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot (q/2)^2$
4. Förlust i grenrör, där flödet minskat till en sjättedel per slang, $p = 0,6 \cdot (q/6)^2$
5. Slangförlust 25 m 38-slang, $p = 48 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot (q/6)^2$
6. Munstyckstryck, 10 mm, $p = 1/(2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2)^2 \cdot (q/6)^2$

Summan av dessa ger systemkurvan, $p = (0,28 + 0,15 + 0,07 + 0,02 + 0,03 + 0,63) \cdot q^2$, alltså $p = 1,18 \cdot q^2$.

Pumpkurvan vid full gas för den specifika pumpen ges av uttrycket $p = 1,2 \cdot 10^6 - 0,13 \cdot q^2$

I skärningen mellan systemkurvan och pumpkurvan, alltså där de två uttrycken är lika, ges det aktuella flödet

$$1,18 \cdot q^2 = 1,2 \cdot 10^6 - 0,13 \cdot q^2$$

Flödet löses ut till 957 l/min totalt i systemet, vilket innebär 160 l/min per strålrör.

Vattenvolym i slangsystem

I många fall finns en begränsad mängd vatten tillgänglig i inledningsskedet av en släckinsats. Det finns därför anledning att vara medveten om vilka mängder vatten som krävs för att fylla ett brandslangssystem och hur fort vattnet används. Vattenvolymen i en brandslang ges av dess tvärsnittsytta och längd:

$V [\text{m}^3]$ volym
 $A [\text{m}^2]$ tvärsnittsytta
 $l [\text{m}]$ längd
 $d [\text{m}]$ diameter

$$V = A \cdot l = \frac{\pi d^2}{4} l$$

Volymen vatten som används ges av

$q [\text{m}^3/\text{s}]$ vattenflöde
 $t [\text{s}]$ tid

$$V = q \cdot t$$

Från en brandbil dras 50 m 76 mm slang till ett grenrör, varifrån två 42 mm slangar dras vardera 50 m. Volymen i slangarna beräknas med hjälp av värden från figuren till

$$V = 4,5 \text{ l/m} \cdot 50 \text{ m} + 2 \cdot 1,4 \text{ l/m} \cdot 50 \text{ m} = 360 \text{ l}$$

Anta att brandbilen rymmer 1 800 liter. När slangarna är fyllda återstår $1\,800 - 360 = 1\,440$ liter. Om de två strålrören ger 300 l/min vardera räcker detta i

$$t = V / q = 1440 \text{ l} / (2 \cdot 300 \text{ l/min}) = 2,4 \text{ min}$$

Två och en halv minut är tillräckligt för att slå ner en mindre brand. För att möjliggöra ett kontinuerligt flöde måste däremot brandbilen kopplas till brandpost eller en andra tank mycket snabbt.

En mindre brand släcks med vatten från tankbil. Ungefär 500 l/min används. Om tankbilen rymmer tio kubikmeter vatten, kommer detta att räcka i

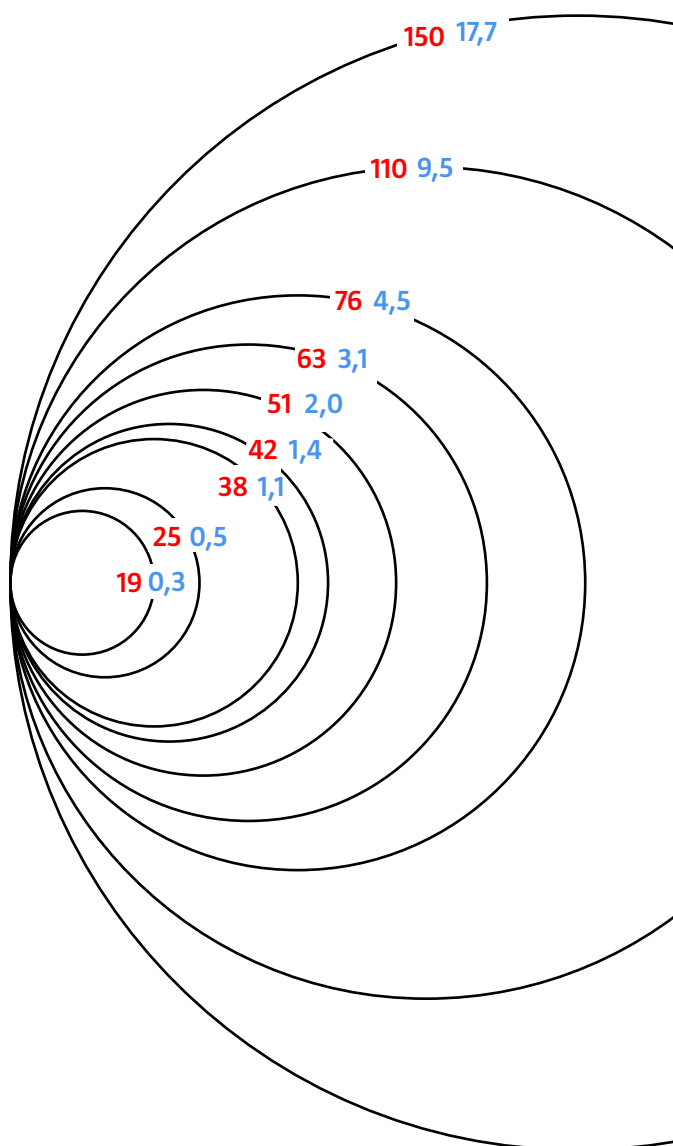
$$t = V / q = 10000 \text{ l} / 500 \text{ l/min} = 20 \text{ min}$$

Här finns inget omedelbart behov att koppla till brandpost, eftersom vattentillgången är så god. Däremot kan det finnas skäl ur beredskaps-synpunkt att ha tankbilen fylld.

Vid en ladugårdsbrand används 300 l/min för att skydda boningshuset. Första tankbilen kommer tio minuter efter släckbilen. Om släckbilens tank rymmer 1 800 liter finns skäl att ompröva insatsen, då vattnet kommer att ta slut redan efter sex minuter.

Slangdiameter (mm)

Slangvolym (l/m)



2.84 Tvärsnitt och volym per meter slang vid olika diameter.



2.85 Vattenstrålens utseende styrs framförallt av konvinkel, tryck och flöde.

Vattenstrålar

Strålrörets utformning och trycket vid munstycket avgör hur vattenstrålen kommer att se ut. Normalt eftersträvas en strålbild som så långt möjligt når fram till, och täcker in, det som brinner.

Kastlängd och kasthöjd

Kastlängden begränsas av tyngdkraften och bestäms till stor del av hur väl vattenstrålen hålls sluten. När strålens tvärsnittsytta ökar, minskar vattendropparnas hastighet och dropparna kommer att röra sig i kastparabler.

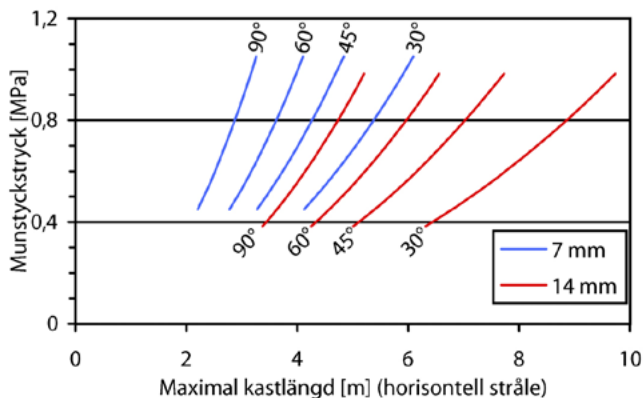
Detta ger en indikation om räckvidden hos vattenstrålar. För att vattenstrålen ska kunna användas praktiskt måste det brinnande föremålet vara inom strålens räckvidd. I allmänhet utnyttjas dock vattnet effektivare ju närmare strålröret kommer branden.

För vattenspray kan ungefärlig kastlängd beräknas som funktion av konvinkeln med hjälp av ett experimentellt framtaget uttryck. Uttrycket är verifierat för konvinklar mellan 30° och 90°. (Fire Research 1955, 1956):

Vatten släcker inga bränder på avstånd.

$$l_{max} = \frac{7,8 \cdot q^{0,36} \cdot p^{0,28}}{\alpha^{0,57}}$$

Med utgångspunkt från ett munstyckstryck på 0,6 MPa ger en förändring av munstyckstrycket med 0,1 MPa, en motsvarande förändring av kastlängden med ungefär 5 % för normala manuella strålrör. Det motsvarar 1–2 m.



l_{max} [m] maximal kastlängd
 p [MPa] munstyckstryck
 q [l/min] vattenflöde ur strålrör
 α [°] konvinkel

2.86 Beräknad kastlängd för en spridd vattenstråle.

Strålrörsklass	Flöde vid 0,6 MPa [l/min]	Kastlängd, sluten stråle [m]*
1	75–150	ca 20
2	75–300	ca 25
3	300–750	ca 30

* Beror på flödet

2.87 I standarden för strålrör (SS3500, 1997) ställs krav på bl.a. kastlängd

En sluten vattenstråle påverkas av tyngdkraften. Den kommer därmed att följa kastparabeln för föremåls rörelse vid konstant acceleration. Sambanden för denna finns i de flesta tabell- och formelsamlingar, t.ex. Ingelstam (1993) eller Björk m.fl. (1998). Strålens teoretiskt största kastlängd och högsta höjd kan då beräknas

$$l = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\beta)}{g}$$

$$z = \frac{v_0^2 \cdot (\sin\beta)^2}{2g}$$

z [m] kasthöjd
 l [m] kastlängd
 v_0 [m/s] vattnets utgångshastighet
 β [°] vinkel mellan strålen och marken

Om strålen riktas rakt upp försvinner sinustermen i sambandet för strålens höjd och kvar blir sambandet för rörelseenergi ur Bernoullis ekvation. Då hastigheten i munstycket beror av munstyckstryck kan vattnets hastighet ersättas med munstyckstryck för beräkning av strålens teoretiskt maximala längd och höjd.

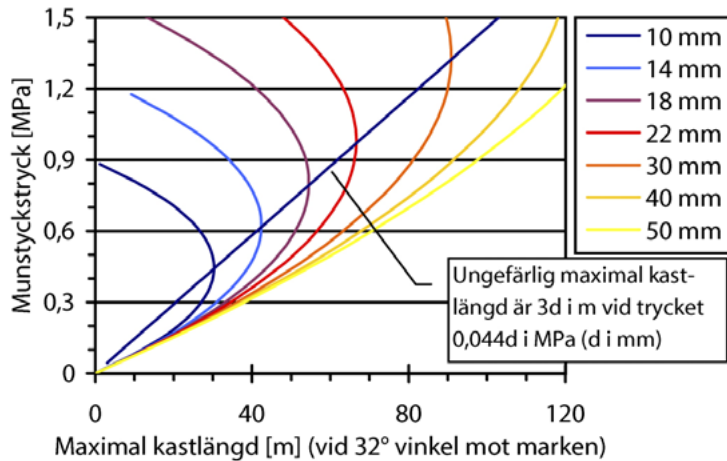
De två sambanden gäller dock endast för en kastparabel som är opåverkad av luftmotståndet. I verkligheten bromsas strålen upp kraftigt, vilket ger lägre höjd och kortare räckvidd. Maximal kastlängd erhålls vid en vinkel mot marken av ca 32°. Empiriska uttryck för maximala längden och höjden hos en grov, helt sluten stråle ger enligt Freeman (1889) refererad i Herterich (1960)

$$l_{max} = \frac{4}{3} z_{max}$$

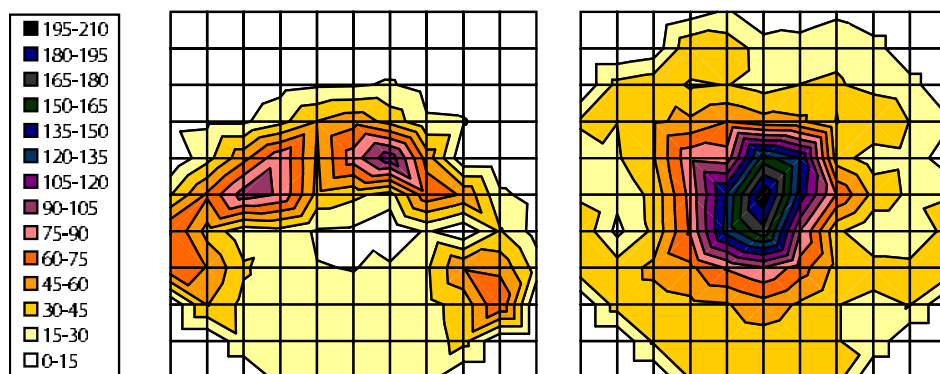
$$z_{max} = 100p - 1100 \frac{p^2}{d}$$

l_{max} [m] maximal kastlängd
 z_{max} [m] maximal kashöjd
 p [MPa] munstyckstryck
 d [mm] munstycksdiameter

Uttrycken är verifierade för munstyckstryck över 0,5 MPa och för munstycksdiameterar mellan 20 och 50 mm.



2.88 Kastlängd hos en sluten vattenstråle beroende på munstyckets diameter och tryck (efter Freeman, 1889).



Vattentäthet

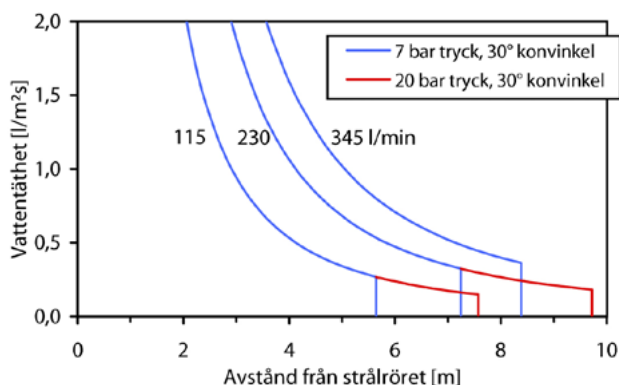
Vanligen eftersträvas en jämn vattenfördelning från spridda strålar. Vattenfördelningen från munstycken för manuell brandsläckning kan mätas med en standardiserad försöksutrustning (SS 3500, 1987). Standarden innehåller krav på att andelen ofylld kon inte får vara för stor, samt att högsta vattentäthet inte får vara alltför stor, jämfört med medelvärdet. I stort sett samtliga moderna strålrör uppfyller kraven i normen, men strålbilderna varierar kraftigt. Värt att notera är att det är svårt för en strålförare att bedöma jämnheten i träffbild hos en spridd stråle (Rimen, 1990).

Bilderna på uppmätt vattenfördelning är hämtade ur en studie där strålrörens gasfasverkan studerades. Skillnader, bland annat i strålbild, gjorde att tiden till en given sänkning av brandgastemperaturen för strålröret med kortast tid var mindre än hälften av tiden hos strålröret som gav längst tid (Handell, 2000). Det är alltså mycket stora skillnader i släckverkan hos olika strålrör, men denna kvalitetsskillnad märks inte alltid. Detta beror på att släcktiden normalt ändå är mycket kort.

2.89 (överst) Försöksmetoden i SS 3500 för att bestämma vattenfördelning från spridd stråle.

2.90 Uppmätt vattenfördelning i $l/m^2 \text{ min}$ från två olika dimstrålrör (efter Handell, 2000).

2.91 Grov teoretisk uppskattning av vattentätheten i strålen på olika avstånd från strålröret. Konvinkeln är 30° i samtliga fall. I beräkningarna har gravitationen försumrats.



Åtkomligheten för vattnet har stor betydelse. Fysiska hinder gör att släckkapaciteten minskar till noll eller nära noll. Det krävs inte särskilt mycket för att störa en vattenstråle. En rad med lastpallar är fullt tillräcklig för att helt reducera vattenstrålens släcke effekt.

Samma ojämna vattenfördelning fås även från sprinklersystem. I vissa fall kan delar av täckytan ligga helt i skuggan och vattnet fördelas över resterande ytor i stället. (Walmsley, 2000) Detta är en av orsakerna till varför det normalt behövs någon form av eftersläckning vid bränder som släckts eller kontrollerats av ett sprinklersystem.

Beroende på strålens kastlängd och droppstorleksfördelning har olika strålrör ett optimalt avstånd från branden. Ökat avstånd till branden kräver längre kastlängd och med ökad kastlängd förändras strålbilden. Om strålen idealiseras med en kon och gravitationen försummas, kan medelflödet [l/m²s] genom strålens tvärsnitt uppskattas geometriskt:

$$q_{medel}'' = \frac{q}{\pi(l \cdot \tan(\alpha/2))^2}$$

q [l/s] vattenflöde ur strålröret
 l [m] avstånd från strålröret
 α [°] konvinkeln

Detta är ett mycket förenklat antagande, men det fyller ändå sitt syfte. Av beräkningen framgår nämligen att medelflödet blir omvänt proportionellt med kvadraten på avståndet från strålröret.

Vid små avstånd mellan strålröret och branden blir vattentätheten mångfalt större än den som krävs för släckning. Ju mer strålen sluts, desto högre blir alltså vattentätheten, samtidigt som täckningsytan minskar.

Tak är ganska opraktiska. De skyddar från släckvatten precis som om det vore regn.



Om avståndet mellan strålröret och branden är långt, måste ett strålrör med ett stort flöde och liten konvinkel väljas, för att kastlängden ska bli den önskade. Detta innebär samtidigt att medelpåföringen blir hög där strålen träffar och att strålen måste ges ett våldsamt rörelsemönster för att samtidigt kunna täcka in den stora yta som vattenflödet möjliggör. Där strålen träffar är den kraftigt överdimensionerad, samtidigt som den i praktiken inte förmår täcka särskilt stor yta. Det kommer då att bildas pölar av outnyttjat vatten på golvet, ett konkret bevis på insatsens ineffektivitet.

2.92 Vattenpölar på en brandplats är det tydligaste beviset på ineffektivt utnyttjat vatten.

Droppstorleksfördelning

En klassindelning av vattensprayer kan göras utifrån vattendropparnas storlek. I en vattenspray av klass 3 är färre än 90 vol% av dropparna mindre än 0,4 mm. Hit räknas därmed många strålrör och sprinklermunstycken. Klass 2 innebär att 90 vol% av dropparna är 0,2–0,4 mm. Vattendimma hamnar i klass 1, där mer än 90 vol% av dropparna är mindre än 0,2 mm. (NFPA 750, 1996)

Så länge enstaka droppar diskuteras, går det att beskriva dem med exempelvis diametern. I en spray finns däremot alltid droppar av många olika storlekar och då är ett uttalande i stil med att "Strålröret ger droppstorleken 0,2 mm" helt ointressant.

Medelvärden av diametrar

Det finns flera olika sätt att beskriva vilken droppstorlek som dominerar. Detta är nödvändigt att veta för att kunna jämföra med annan information. Ofta används ett beräknat medelvärde för droppstorleken för att representera sprayen. Beroende på hur medelvärdet ska användas, ger olika medelvärden bäst information. I släcksammanhang är Sauter-medeldiametern eller massmedeldiametern vanligast (The Mechanism of Extinguishment..., 1955).

Aritmetisk, eller geometrisk, medeldiameter är medelvärdet av dropparnas diametrar.

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

x_i är antalet droppar med diametern d_i

Volymmedeldiameter är diametern hos en droppe med samma volym som medelvärdet av alla dropparnas volym.

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

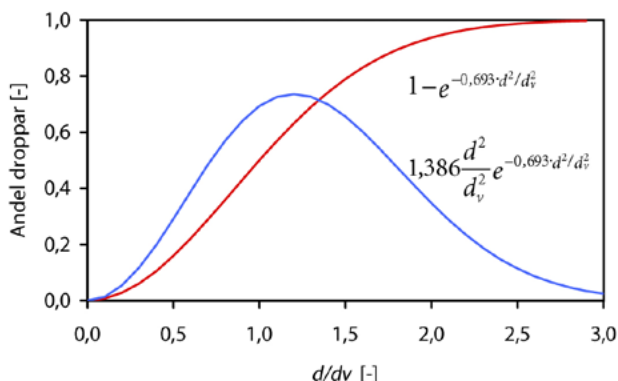
Massmedeldiameter är diametern hos en droppe med samma massa som medelvärdet av alla dropparnas massa. Då densiteten är lika för alla droppar, blir massmedeldiametern lika med volymmedeldiametern.

$$d_{\text{massmedel}} = \left(\frac{\sum x_i \cdot d_i^3 \cdot \rho}{\sum x_i \cdot \rho} \right)^{1/3}$$

Sauter-medeldiameter är diametern hos en droppe vars förhållande mellan volym och yta är samma som för alla dropparna. Detta medelvärde kallas ofta volymytmedelvärde, SMD eller D_{32} och används ofta för att karakterisera en spray.

$$d_{\text{sauter-medel}} = \frac{\sum x_i \cdot d_i \cdot d_i^2}{\sum x_i \cdot d_i^2}$$

I vissa sammanhang används inte medelvärdet utan medianvärdet, alltså diametern på den droppe i sprayen, där hälften



2.93 Rosin-Rammler-fördelning, $P_v(d)$ är sannolikheten att en droppe har en viss volym. Droppstorlekens kumulativa fördelning, d.v.s. sannolikheten att droppar har diametern $< d/d_v$.

av dropparna är större och hälften är mindre.

Medianvärden kan användas vid angivelse av både diameter, volym och yta.

De olika diametrarna skiljer sig kraftigt åt. För ett högtrycksstrålrör uppmättes det geometriska medelvärdet 0,111 mm, ytmedeldiametern 0,135 mm, volym-medeldiametern 0,156 mm samt Sauter-medeldiametern 0,208. (Rimen 1990) För en skärsläckare uppmättes vid 10 m avstånd och 260 bar det geometriska medelvärdet 0,070 mm, volym-medeldiametern 0,110 mm samt Sauter-medeldiametern 0,170 mm. (Försth m.fl. 2012)

Två strålar med 1,5 mm diameter som korsar varandra i 90° vinkel vid 0,7 MPa tryck, ger ungefär $d_{\text{massmedel}} = 0,35$ mm och $d_{\text{sauter-medel}} = 0,32$ mm. Droppstorleken minskar kraftigt för tryck upp till ca 0,7 MPa. För högre tryck blir beroendet mer komplext, det minskar och varierar med den rumsliga fördelningen.

Droppstorlekarnas fördelning

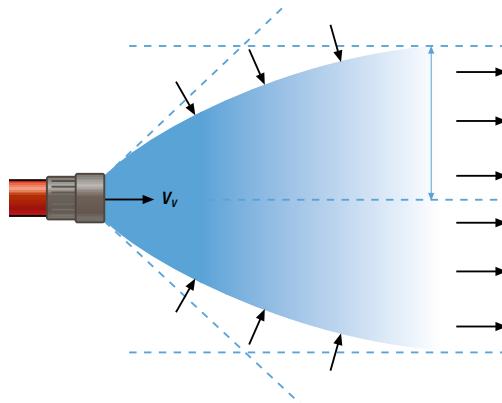
Ytterligare ett sätt att beskriva sprayen är genom att ange exempelvis övre och nedre kvartilen av en fördelning. Då är 25 % respektive 75 % av dropparna större än detta värde. Droppstorleken i sprayer har vanligen form av en Rosin-Rammler fördelning

$$P_v(d) = \frac{1,386 \cdot d^2}{d_v^2} \cdot e^{-0,693 \cdot d^2 / d_v^2} \quad \begin{array}{l} d_v [\text{mm}] \text{ volymsmedeldiameter} \\ d [\text{mm}] \text{ diameter hos enskild droppe} \end{array}$$

Volymandelen droppar med en diameter mindre än d ges av

$$V(d) = \int_0^d P_v(d) dd = 1 - e^{-0,693 \cdot d^2 / d_v^2}$$

d_v beror ungefär av roten ur munstycksdiametern.



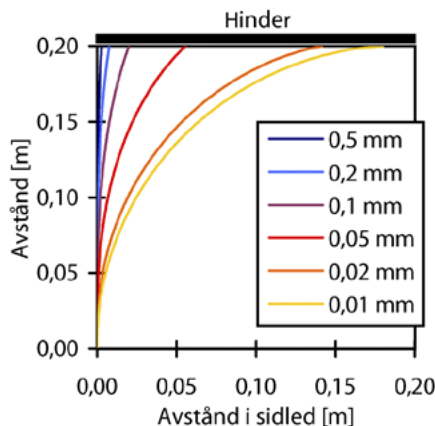
2.94 Insugning av luft i en spray med fina droppar.

Sprayens aerodynamik

Reaktionskraften från ett spraymunstycke är mindre än från ett munstycke med en sluten stråle. Det beror på att vattnet kastas åt sidorna, vilket ger motkrafter i sidled. Dessa motverkar varandra då strålen är i stort sett symmetrisk. För en spray med fina droppar med spridningsvinklar större än 50° har sprayens rörelsemängd överförs till luften inom ett par meter från munstycket. Dropparna har bromsats upp och kan betraktas som droppar som följer med en luftström som har samma hastighet som dropparna.

Ungefär 0,02 mm är en intressant gräns för vattendroppars storlek. Så liten måste nämligen en vattendroppe vara för att börja följa med en luftström. Är droppen större än så, vilket är det normala för räddningstjänstens utrustning, fortsätter droppen rakt fram om luftströmmen viker av på grund av ett

2.95 Beräknad bana för vattendroppar av olika storlek i en luftström om 4 m/s mot en vägg. Droppar mindre än 0,02 mm följer med luftströmmen. Droppar större än 0,1 mm fortsätter rakt fram och slår i väggen. (Efter Andersson & Holmstedt, 1999.)



hinder. Lufthastigheten avgör också. Ju högre lufthastighet, desto mindre måste vattendroppen vara för att följa med luftströmmen. (Andersson & Holmstedt, 1999)

Vid kylning av brandgaser är sprayens fläktverkan viktig att ha i minnet. Om en fin dimma sprutas från ett strålrör som hålls horisontellt (eller lite uppåt) i underkanten av brandgaslagret, kommer brandgaser att sugas med av ejektorverkan och därmed kommer kylningen att gå fortare. Om strålröret i stället hålls vid golvnivån riktat uppåt kommer luft från friskluftslagret att sugas med. Det skapar omrörning och dålig sikt även vid golvet, samtidigt som kylningen blir mindre.

Strålrörsventilation

En spridd stråle kan användas för att ventilerar ut brandgaser. I många fall är tvärdrag väl så effektivt och kapaciteten är sämre än med fläkt, men strålrörsventilation är en snabb metod som kan användas bara det finns ett strålrör. För att undvika onödiga vattenskador, öppnas strålröret utanför fönstret. Strålföraren backar sedan in i rummet tills sprayen täcker in större delen av fönsteröppningen utan att träffa fönsterkarmen. Glöm inte tilluftsöppning. (Svensson, 2020)

Luftvolymen som sätts i rörelse kan uppskattas genom att rörelsemängden bevaras och är lika hos vatten (v) och luft (l) vid strålröret (1) respektive i sprayen en bit bort (2). Luftens utgångshastighet är noll, och i sprayen har vattnet och luften samma hastighet. På grund av vattnets spridning i sidled överförs dock endast andelen f till luften.

$$f\dot{m}_v v_1 = \dot{m}_v v_2 + \dot{m}_l v_2$$

Luftens massflöde ges av hastigheten, tvärsnittsytan och densiteten,

$$f\dot{m}_v v_1 = \dot{m}_v v_2 + v_2 A_2 \rho_l v_2$$

Denna andragradsekvation kan formuleras om för att lösas

$$v_2^2 + v_2 \left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right) - f v_1 \left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right) = 0$$

Vattnets utgångshastighet ges från beräkning av vattenflöde ur munstycken

$$v_2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right)^2 + f \sqrt{\frac{2 p_1}{\rho_v} \left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right)}}$$

$\dot{m}$	[kg/s] massflöde
v	[m/s] hastighet
A	[m ²] tvärsnittsytan
q	[m ³ /s] flöde
ρ	[kg/m ³] densitet
l	luft
v	vatten

Ett dimstrålrör ger 4,5 kg/s. När sprayens radie är 0,5 m blir innehållet i formelns parentes

$$\left(\frac{\dot{m}_v}{A_2 \rho_l} \right) = \frac{4,5}{\pi 0,5^2 \cdot 1,2} = 4,81$$

Densiteten för vatten och luft är 1 000 respektive 1,2 kg/m³. Om hälften av energin överförs till luften och med 600 000 Pa i munstyckstryck blir lufthastigheten

$$v_2 = -\frac{4,81}{2} + \sqrt{\frac{4,81^2}{4} + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 600000}{1000}} \cdot 4,81} = 7,0 \text{ m/s}$$

Strålen fungerar därmed som en fläkt med kapaciteten

$$q_l = A_2 v_2 = \pi 0,5^2 \cdot 7,0 = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luft och därmed syre kommer att tillföras branden med sprayen. Att vädra ut brandgaser från en välventilerad eller släckt brand är okontroversiellt. Är branden däremot ventilationskontrollerad kommer den tillförda syremängden att kunna ge den ökade effektutvecklingen.

$$\dot{Q} = q_l \Delta H_{R,O} \rho_l Y_O = 5,5 \cdot 13,1 \cdot 1,2 \cdot 0,23 = 20 \text{ MW}$$

Denna möjliga extra effektutveckling är faktiskt i samma storleksordning som strålrörets släckförmåga.

$\dot{Q}$ [MW] effektutveckling
 $\Delta H_{R,O}$ [–] Frigjord energi
 mängd per massa
 förbrukat syre
 Y_O [–] Massandel syre i
 luften

Vattensprinklerssystem

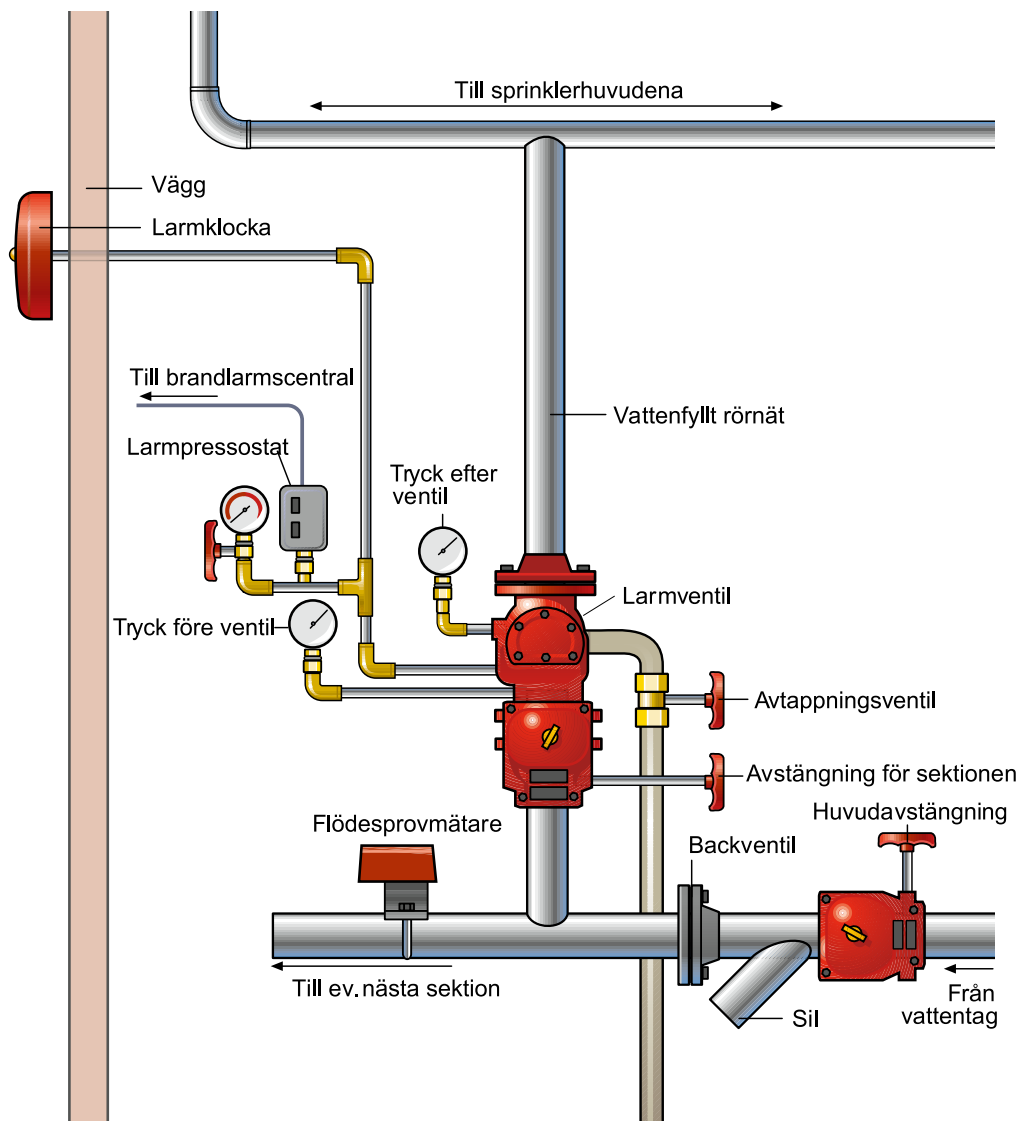
Sprinklersystem kan installeras av flera skäl. Det kan vara anläggningsinnehavaren som vill skydda sin anläggning eller ett krav i lag och förordning för att byggnaden ska få utformas som innehavaren önskar. Det kan också vara försäkringsbolaget som kräver installation av sprinkler för att acceptera försäkringstagaren, eller uppmanar till det genom sin premiesättning. Vissa system installeras för att kontrollera branden till dess den är släckt av räddningstjänsten, eller har brunnit ut av sig själv. Andra system förväntas att själva släcka branden.

Beroende på syftet med systemet kan olika regelverk och handböcker användas för dimensionering och utförande. SBF 120:8 (2016), tidigare kallad RUS 120:5, är vanligast i Sverige, men även andra regler, exempelvis från NFPA, kan vara användbara, beroende på syftet med anläggningen. Dimensioneringen behandlas tillsammans med dimensionering av insatser med vatten i övrigt.

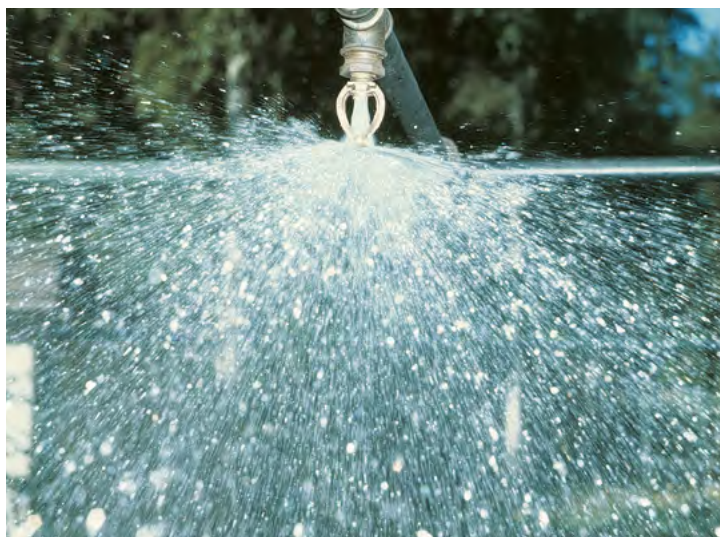
Systemtyper

Våtrörssystem är den vanligaste typen av sprinklersystem. Vid varje sprinklerhuvud i systemet finns vatten under tryck. När något av dem aktiveras strömmar vatten ut ur det munstycket. Då sjunker trycket i systemet. Denna trycksänkning aktiverar sprinklerlarmet och eventuell sprinklerpump.

2.96 Principskiss över sprinklercentral (våtrör).



2.97 Aktiverat sprinklermunstycke.



Om sprinkler installeras på platser med frostrisk används ett torrörssystem. Det är fyllt med tryckluft istället för med vatten. Aktiveringen sker på samma sätt som för våtrörssystemen. När ett munstycke har öppnat sjunker lufttrycket i systemet. Då öppnas en ventil i sprinklercentralen och rörsystemet fylls av vattnet. Det fungerar därefter som ett våtrörssystem.

Om endast en del av systemet är utsatt för frostrisk, exempelvis en lastbrygga, kan ett våtrörssystem med torrörsförlängning användas. Torrörsförlängningen är fylld med tryckluft med högre tryck än vattnet i det övriga systemet. När torrörsförlängningens vanliga sprinklerhuvud öppnas, släpps luften ut, trycket sjunker och en ventil för vattnet öppnas.

Ett förutlösningssystem, ibland kallat preactionsystem, fungerar som ett torrörssystem, med skillnaden att ventilen som släpper på vattnet styrs av ett brandlarmssystem. En eller flera rökdetektorer aktiveras normalt först och vattnet kan släppas på i systemet redan innan sprinklermunstycket har öppnat. Det innebär att vattnet redan är på väg när sprinklermunstycket aktiveras och aktiveringstiden kan hållas nere. Dessutom ges möjlighet till en snabb manuell släckinsats då brandlarmet aktiveras av rökdetektorn redan när branden är så liten att sprinklermunstycket ännu inte aktiverats. Att brandlarmssystemet styr sprinklerventilen innebär

att vattnet inte behöver strömma ut vid en oavsiktlig skada på ett sprinklerhuvud.

Vid normala sprinklersystem, av de hittills nämnda typerna, aktiveras ett sprinklermunstycke åt gången. I ett grupp-utlösningssystem, även kallat delugesystem, aktiveras flera munstycken åt gången. Munstyckena saknar därför glasbulb eller motsvarande öppningsanordning. Systemet används där det finns risk för extremt snabb brandspridning. Aktiveringen sker exempelvis med hjälp av rökdetektorer eller en mindre pilotledning som öppnar en gruppventil för en särskild del av systemet.

Särskilda risker kräver särskilda släcksystem, till exempel extra snabba system till en pyroteknisk industri eller särskilda kylsprinklersystem för skydd av gascisterner.

Bostadssprinkler är uppbyggda som ett normalt våtrörs-system, men med lägre kapacitet, klenare dimensioner m.m. (SBF 501:2, 2018). Till skillnad från konventionella system, finns plaströr som kan användas vid installation av bostadssprinkler.

Bland sprinklersystemen kan även nämnas system med vattendimma. De kännetecknas av att vattenflödet är avsevärt mindre än normala sprinklersystem. Å andra sidan är vatten-trycket högre, munstyckena finare och vattendropparna mycket mindre (SBF 503:1, 2019).



2.98 Vid larm är det räddningstjänstens uppgift att hantera sprinklersystemet. Då gäller det att veta hur systemet fungerar.



2.99 Vattensprinkler som ska hålla en gastank kyld vid händelse av brand. Kysprinklern förses med vatten av räddningstjänsten. Vattenförbrukningen måste räddningstjänsten ta reda på i förväg.

Sprinklertyper

Allteftersom sprinklertekniken utvecklats har fler munstyckstyper tillkommit. Olika typer används i olika sammanhang. Oftast består ett sprinklerhuvud av ett runt munstycke och en bygel i vilken en spridarplatta är fastskruvad. I munstycket sitter en plugg som tätar mot vattnet. En glasbulb sitter inspänd mellan pluggen och bygeln. När glasbulben går sönder av värmen från branden, försvinner kraften som håller pluggen på plats och den pressas ut av vattentrycket. Vattnet kan strömma ut och träffar spridarplattan som ger önskad strålbild. Beroende på spridarplattans utformning strilas vattnet igenom eller studsar och går åt motsatt håll.

Konventionell sprinkler kallas den vanligaste typen. Den har en spridarplatta som gör att ungefär hälften av vattnet går i sprinklerhuvudets riktning och hälften åt andra hållet. En del av vattnet går direkt mot branden och en del studsas mot taket. Munstyckena kan då monteras antingen uppåt eller nedåt. Sprinklerhuvudet är märkt med U/P (upright/pendant).

I en spraysprinkler studsar inte särskilt mycket vatten uppåt. Det mesta sprayas nedåt, ungefär som ett duschmunstycke. Rörelsemängden hos dropparna blir större hos en spraysprinkler, än hos konventionella sprinkler.

Med en spridarplatta som kompletterats med en plåt i vattenstrålens riktning fås en väggssprinkler. Sådana monteras alltid horisontellt.

Stordroppssprinkler används i brandsammanhang där vatten har lång väg ner till brandhärden. Små droppar har inte tillräcklig kraft att orka igenom flammorna. Tanken bakom stordroppssprinklern är att kunna placera sprinklermunstyckena i taket och med stora vattendroppar kontrollera en brand i exempelvis ett ställage.

ESFR-sprinkler står för early suppression, fast response, det vill säga tidig släckning, snabb reaktion. Genom att sprinklern aktiveras snabbt och flödet är stort, slås branden ner tidigt och kan därmed klaras med ett fåtal sprinklermunstycken. Liksom stordroppssprinkler är ESFR-sprinklern framtagen framförallt för lager.

Sprinklermunstycken med extra stor öppning, ELO, Extra Large Orifice, kan vara ett sätt att få tillräcklig vattentäthet, exempelvis vid uppgradering av ett sprinklersystem där riskerna ökat.

Nominell munstycksstorlek [mm]	K-faktor [l/minkPa ^{0,5}]
10	5,7
15	8,0
20	11,5

2.100 Exempel på K-faktor

K-faktor hos sprinklermunstycken

K-faktorn används för att beskriva storleken på vattenflödet ur sprinklermunstycket. Ju högre K-faktor, desto större är öppningen och desto större blir vattenflödet ur sprinklerhuvudet.

$$q = K \cdot \sqrt{p}$$

q [l/min] flöde
 p [kPa] munstyckstryck
 K [l/minkPa^{0,5}] K-faktor

Den minsta munstycksstorleken används i princip vid låg riskklass, det vill säga vid verksamhet där mängden brännbart material är låg. Mellanstorleken används vid normal riskklass, vilken inkluderar normal affärsverksamhet och industrier. Vid hög riskklass, som bland annat innefattar lager, används större munstycksstorlek.



2.101 Sprinklerhuvud med smältbleck för EC- och ESFR-sprinkler, samt med glasbulb för väggssprinkler och konventionell sprinkler.



Utlösnings- temp [°C]	Färg på glasbulb
57	Orange
68	Röd
79	Gul
93	Grön
141	Blå
182	Malva
227–343	Svart

2.102 Glasbulbens färg avgör aktiveringstemperaturen.

Utlösnings- temp [°C]	Färg på ok hos smält- metall- sprinkler
57–77	Ofärgad
80–107	Vit
121–149	Blå
163–191	Röd
204–246	Grön

2.103 Samband mellan färg och aktiveringstemperatur hos sprinklerhuvud.

Aktiveringstemperatur

Aktiveringstemperaturen avgörs av vilken vätska som finns i glasbulben, alternativt vilken lödmetall som använts i smältblecket. För glasbulber anger färgen vilken temperatur som gäller. Temperaturen finns också instansad i klartext på munstycket.

Sprinkleraktivering

Normalt aktiveras sprinklersystem genom att värmen från branden påverkar en glasbulb eller ett metallbleck i något av sprinklermunstyckena.

Glasbulber innehåller en vätska med kända termiska egenskaper. När vätskan når en viss temperatur börjar den att koka, varvid trycket ökar i behållaren som sprängs. Därmed är det inte längre något som hindrar pluggen i sprinklermunstycket, utan den kastas ut av vattentrycket.

Ett smältbleck består av två mycket tunna metallplåtar som är hoplödda. Lödningen är gjord med en metall som smälter vid en känd temperatur; smältbleckets aktiveringstemperatur. När blecket når aktiveringstemperaturen faller de två metallplåtarna isär och sprinklermunstycket aktiveras på motsvarande sätt som vid användningen av en glasbulb. Smältbleck förekommer även för automatisk öppning av rökluckor.

Tre faktorer hos sprinklerhuvudet avgör när det aktiveras, aktiveringstemperaturen, RTI-värdet och C-faktorn. För beräkning av aktiveringstid i verkliga situationer hänvisas till annan litteratur eller till datorprogram.

RTI-värde

RTI-värdet, Response Time Index, hos ett sprinklermunstycke talar om hur snabbt aktiveringstemperaturen nås. En stor glasbulb har ju stor massa, som kräver mycket energi för att värmas upp, medan en liten glasbulb kräver liten energimängd för att värmas upp. I samma heta brandgasström aktiveras ett munstycke med RTI 30 mycket snabbare än ett munstycke med RTI 300. RTI-värdet påverkas också av hur väl de heta gaserna kommer åt att värma upp bulben eller metallen. Sitter den i skuggan av sprinklerhuvudets bygel, tar det längre tid och ger ett högre RTI-värde, än om gaserna har fri passage.

Ett snabbt aktiverande sprinklerhuvud betecknas ibland QR, Quick Response, och har ett RTI-värde runt 30. Motsvarande värden är för Medium Response ungefär 100 och Normal Response 200–500. Det normala vid installation är quick response-sprinkler. För samma förhållanden är aktiveringstiden proportionell mot RTI-värdet. I en situation där en snabb sprinkler aktiveras på några sekunder efter att de varma gaserna börjat strömma förbi, kommer en sprinkler med högt RTI-värde att dröja upp mot en minut innan aktivering sker.

RTI-värdet för ett sprinklerhuvud bestäms efter experiment i en särskild vindtunnel där det utsätts för en väldefinierad varm luftström. Tiden för aktivering mäts och därefter kan sprinklermunstyckets RTI-värde, som är ett mått på värmeövergångshastigheten, beräknas (Gustavsson, 1988).

$$RTI = - \frac{t\sqrt{v}}{\ln\left(1 - \frac{T_{akt} - T_0}{T_g - T_0}\right)}$$

$RTI [m^{0.5}s^{0.5}]$ RTI-värde	$T_{akt} [^{\circ}C]$ aktiveringstemperatur
$t [s]$ aktiveringstid	$T_0 [^{\circ}C]$ rumstemperatur
$v [m/s]$ lufthastighet	$T_g [^{\circ}C]$ gastemperatur

I en vindtunnel med lufthastigheten 2,5 m/s och temperaturen 197 °C provas ett sprinklerhuvud. Omgivningstemperaturen är 20 °C. Sprinklerhuvudet är stämplat 68 °C och aktiveras efter 16 sekunder. Då blir $RTI = -16 \cdot 2,5^{0.5} / \ln(1 - (68 - 20)/(197 - 20)) = 80 m^{0.5}s^{0.5}$.



2.104 En liten glasbulb har ett lågt RTI-värde och aktiveras snabbt. Med stor glasbulb blir RTI-värdet högt och det tar lång tid för sprinklerhuvudet att aktiveras.

C-faktor

Med små aktiveringsmekanismer blir inte längre värmeledningen från glasbulben eller smältblecket till bygeln försumbar. Värme leds via konduktion in från bulben till sprinklerhuvudet. Storleken på denna värmeförlust betecknas med C-faktorn.

Sprinklercentral

Från sprinklercentralen styrs hela sprinklersystemet. Sprinklercentralen placeras så att den är lätt tillgänglig, normalt i anslutning till en entré. I sprinklercentralen finns avstängningslarm- och dräneringsventiler för varje sektion av systemet. I sprinklercentralen placeras även eventuella tryckhöjningspumpar m.m. Om vattenbassäng krävs för att säkerställa vattentillförseln, placeras den ofta i närheten.

Kontrolljournalen förvaras i sprinklercentralen. Av den framgår hur ofta sprinklersystemet kontrolleras. Om byggnadens skydd baseras på funktionen hos ett sprinklersystem, eller något annat aktivt skyddssystem, är det väsentligt att funktionen säkerställs.

Hantering av sprinkler

För att räddningstjänsten ska kunna hantera sprinklersystemet, ska det alltid finnas orienteringsritningar. De visar hur anläggningen är tänkt att fungera och hur man hittar snabbaste vägen till det ställe där systemet aktiverats.

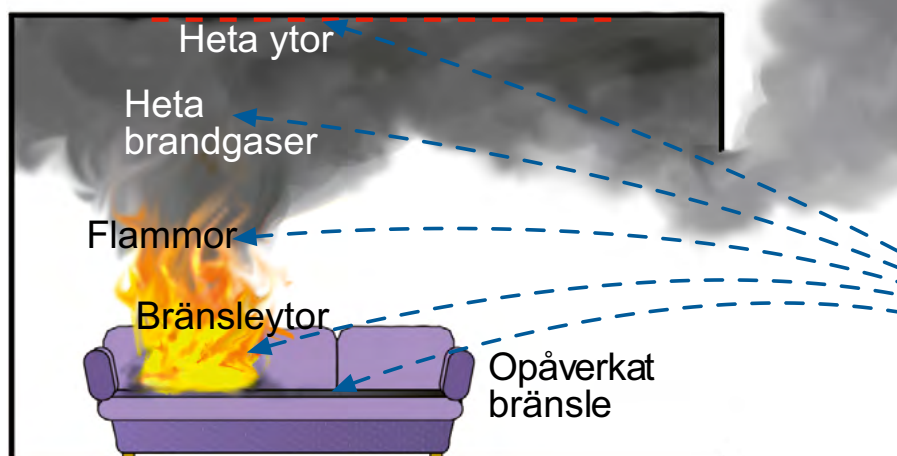
Vid larm om brand i en byggnad som är skyddad med sprinkler bör alltid någon ur insatsstyrkan bege sig till sprinklercentralen. Vid incidenter är orsaken att kunna stänga av systemet snabbt. Vid brand är orsaken att säkerställa funktionen hos systemet och för att samla in nödvändig information.

Vid bränder i sprinklade byggnader är det vanligtvis räddningsledaren som fattar beslut om när sprinklersystemet ska stängas av. Det finns inga skäl att stänga av ett sprinklersystem innan branden är under kontroll och innan det sker måste erforderliga manuella resurser vara framme vid branden. Sprinklermunstyckena sitter ju faktiskt närmare branden än vad strålförarens munstycke kommer vid de lite större bränderna.

Det har hänt att räddningstjänsten stängt av sprinklersystemet vid industribränder i tron att ha kontroll över branden. Branden har blossat upp och när systemet startats igen har branden blivit sprinklersystemet övermäktig. (Brandsjö, 2001)

Om det däremot rör sig om en brand som redan släckts eller om ett sprinklerhuvud som aktiverats utan brand, ska systemet självklart stängas av så snabbt som möjligt så att vattenskadorna undviks. Det gäller således att snabbt ta reda på varför systemet har gett larm.

Vid larm från en sprinklad byggnad bör alltid någon ur insatsstyrkan bege sig till sprinklercentralen.



2.105 Fem olika platser där vattendroppar kan förångas. Dessa kombineras till släckteknikerna brandgaskylning, bränslekylning och släckning med ånga. Är rummet slutet blir principen densamma men det brinner redan sämre på grund av att brandgaser återcirkulerar in i flammorna.

Vattnets användningsområden

Det finns i princip fem olika sätt som vatten kan användas på i brandsläckningssammanhang. Vatten kan användas för att kyla varma brandgaser, att kyla och därmed släcka flammorna. Det kan användas för att kyla bränsleytor så att pyrolysen avstannar. Det kan hålla bränsleytor som ännu inte deltar i branden kalla. Slutligen kan vatten förångas mot heta ytor för att inertera ett brandrum med vattenånga. I princip kombineras dessa faktorer på tre olika sätt, vilka alla har sina för- och nackdelar: brandgaskylning, bränslekylning och släckning med ånga.

Vid större bränder kan vattenkanoner eller större strålrör vara nödvändiga för att ge tillräcklig räckvidd för att dämpa branden och därmed minska risken för brandspridning. Ett snabbt och kraftfullt inledande flöde med fordonsmonterad vattenkanon

eller ett backuppstrålrör kan snabbt få en intensiv brand under kontroll. Är tiden kort kan volymen hållas begränsad.

När samma utrustning används vid större bränder för att ge tillräcklig räckvidd för att dämpa branden och därmed minska risken för brandspridning åtgår så stora mängder vatten att öppet vattentag kan krävas, samtidigt som hanteringen av kontaminerat släckvatten kan bli ett problem.

För att undvika antändning av hotade objekt vid större bränder och för att skapa brandgator kan lösa sprinkler vara ett alternativ. Det finns spraymunstycken som arbetar med ett lågt flöde och som klarar av att förhindra antändning. Dessa applikatormunstycken placeras antingen i marken som en vattenspridare, eller slås igenom exempelvis ett tak och får en placering som normala sprinklerhuvuden. Denna typ av utrustning är utpräglad defensiv och syftar till att förstärka begränsningslinjer. Det finns även ridåmunstycken som är avsedda att skapa en ogenomtränglig vägg av vatten. Varken strålningsvärme, flygbränder eller varma brandgaser kan passera igenom en sådan vattenridå. Tyvärr har ridåmunstycken ofta en hög vattenförbrukning.

För fasta släcksystem fungerar vatten utmärkt, både till traditionella sprinklersystem, till punktskydd och till vattendimsystem (Liu, 2001).

Snö kan vara ett lämpligt släckmedel vintertid där det är svårt att få fram vatten på grund av långa avstånd eller sträng kyla. Finns en frontlastare eller snöslunga på brandplatsen kan den användas för att få snön på plats, annars appliceras snön med skovlar. Torr och lös snö är lättare att hantera än blöt och tung. Snö används för direkt släckning genom ytkylning och lämpar sig därmed främst för mindre, eller begränsade bränder. Den kan också användas för att skydda föremål som inte antänts. Att till exempel täcka grannhuset med snö vid brand i ett fjällhotell kan vara ett sätt att hindra brandspridning i väntan på räddningstjänstens uppbyggnad av resurser.

Snabbt uppflammande brandförlopp fås vid användning av vatten mot vissa metaller, heta oljor och reaktiva ämnen, exempelvis karbid (CaC_2) som bildar acetylengas tillsammans med vatten. Detta har varit känt i stort sett lika länge som vatten har använts för brandsläckning. (Lindgren, 1864)

Brinnande metaller, exempelvis magnesium eller aluminium reagerar med vattnet till metalloxid och vätgas. Vätgasen kan sedan reagera vidare med luftens syre. Vätgas och syre brukar kallas knallgas och när den brinner kan dels tryckvågen, dels kringstänkande och brinnande metall vålla skador. Vissa metaller, däribland natrium, kalium och kalcium, kan ge denna reaktion vid kontakt med vatten utan brand.

Vatten är normalt inte användbart mot bränder i gas eller i bränder i vätska med relativt låg flampunkt. Små bränder av denna typ går dock att släcka om strålröret ger små vattendroppar. Medelvolymdiametern bör vara mindre än 0,5 mm.

Strålförarteknik

Det är viktigt att alltid klargöra vilken effekt som önskas innan strålröret öppnas. Släckeffekten beror på vad du gör med vattnet, inte vilken utrustning som används.

Ingen av de tre metoderna, brandgaskylning, bränslekylning eller användning av vatten som gasformigt släckmedel, förekommer helt renodlad. Det vatten som passerar igenom flammorna vid brandgaskylning koler bränsleytorna så att pyrolysen minskar. När vattnet förångats kommer den bildade vattenånga att verka dämpande på branden. Bäst resultat nås genom en kombination av de olika sätten att använda vattnet.

Arbetet blir säkrast om vattnet kan nå branden utan att brandmannen behöver vara nära den, genom att använda exempelvis dimspik eller skärsläckare från utsidan. Eller ett vanligt strålrör genom ett fönster.

Tyvärr är bränder sällan så lättillgängliga att detta fungerar. Ofta är inte bränderna möjliga att nå från det fria och att utifrån spruta vatten på lågor är i regel till ingen nytta. Då återstår att brandmän med strålrör tar sig nära branden. Det försämrade skyddet kompenseras av principerna för rökdykning, reglerade av Arbetsmiljöverket. Vid flertalet lägenhetsbränder är det exempelvis mest effektivt att en rökdykare tar sig nära branden och angriper brandhärden.

Med låg ställning som rökdykare blir värmebelastningen minst och sikten bäst. Det är alltså bäst att krypa. Vid arbete i stark strålningsvärme kan det vara bra att ta skydd bakom lämpliga föremål, en dörr till exempel. Före angreppet ser man till att

Som strålförare måste du alltid veta i vilket syfte du sprutar. Ta reda på om strålen har avsedd effekt. Annars måste du ompröva ditt agerande.

För en krypande rökdykare blir värmebelastningen mindre och sikten bättre.

En fullt utvecklad rumsbrand kan slås ned genom att man täcker in hela den varma gasmassan med en spray, varefter bränsleytorna fuktas så snabbt som möjligt.

2.106 *Genom att strålföraren går nära branden får strålröret bättre effekt. Här används strålen för att skydda en intilliggande byggnad. Om inte ett skyddande strålrör används, får strålföraren skydda sig på något annat sätt.*

slangen är tillräckligt lång för hela angreppet. Det är bättre med en för lång slang än en för kort. En manöverbåge tar hand om överskottet och förenklar strålförarens arbete.

Vid en begränsad brand används spray för att kunna fukta hela den brinnande bränsleytan så snabbt som möjligt. Vid bränder i enstaka föremål ställs därmed munstycket in så att sprayen täcker in hela föremålet i ett kort svep.

När branden slagits ner minskas flödet omedelbart och när ingen brand syns stängs strålröret helt. Eventuella glödhärdar släcks därefter var för sig.

Vid en fullt utvecklad brand inomhus är det ofta mest effektivt att med svepande rörelser täcka in samtliga bränsleytor, snarare än att öppna och stänga strålröret med korta duschar (Palm, 2000). Denna kylning av brandgaser och kylning av väggar och tak görs med svep från sida till sida eller i en cirkelformad rörelse anpassad till rummets form. Det är viktigt att arbeta aktivt med strålröret. Genom att börja svepet parallellt med golvet kan strålbilden kontrolleras. Strålbilden ska vara så bred som möjligt för att täcka in brandgaserna, samtidigt som den måste vara tillräckligt samlad för att dropparna nått och jämnt ska nå fram till motsatt vägg. En konvinkel om 30–60° kan därför vara lämplig.



Ofta fås snabbast effekt om strålröret riktas direkt mot det område där branden är som mest intensiv. När det första svepet avslutats bör strålföraren avancera eller flytta sig i sidled för att öka åtkomligheten till bränsleytor. En onödig orsak till låg släckeffekt är att strålföraren gör angreppet från en dålig position i rummet.

Brandgaskylning

Brandgaskylning används ofta vid fullt utvecklade bränder om inte räddningstjänstens rökdykare kan nå fram till brandhärden omedelbart. Metoden används uteslutande inomhus. Brandgaskylning har kallats offensivsläckning, men metoden är inte mer offensiv än många andra metoder och namnet kan därmed bli missvisande. Vid rumsbränder som nått övertändning gör temperaturen och strålningen från branden att en rökdykare först måste möjliggöra släckinsatsen genom att slå ner övertändningen innan bränsleytorna kan kylas. Detta sker genom brandgaskylning där vattnet förångas direkt i de heta flammorna och brandgaserna. Den stora fördelen med dimstrålrör ligger i den stora träffytan hos vattnet. Vattnet kan alltså påverka en stor gasmassa. Effektiv brandgaskylning förutsätter att vattendroppar förångas i brandgaser och flammor. Det är här droppstorlekens betydelse kommer in.

Lågande brandgaser kyla och släcks genom att små vattendroppar förångas och genom att ångan upphettas. Släckningen sker helt i gasfas och beror på att den termiska belastningen på flaman blir så stor att den slocknar.

Dropparna ska vara så stora så att de når fram till den hetaste gasmassan i rummet. Samtidigt bör dropparna ha förångats helt innan de träffar motsatta väggen. Detta innebär att högttryckssystem, där dropparnas storlek i allmänhet är mindre, ger bättre kylning av brandgaser än system med lågttryck.

Bäst verkan fås genom svep med strålröret som täcker in hela brandgasvolymen. Ju större lokalen är, desto längre blir svepet och desto större flöde krävs. Även konvinkeln ställs in så att brandgaserna täcks in på bästa sätt. I ett kort och brett utrymme är en stor konvinkel lämpligast, men är lokalen smal och lång är det bättre med en smal konvinkel. Helst ska vattnet precis nå bortre väggen.

2.107 Med ett dimstrålrör kan även en kraftig brand hanteras. Vattenflödet är här endast cirka 75 l/min.



På motsvarande sätt är det bättre att hålla strålröret i underkanten av brandgaslagret och så mycket uppåtriktat att underkanten på sprayen följer brandgaslagrets underkant, än att rikta strålen brant uppåt från golvet. Vattendropparnas väg genom brandgaserna blir på så sätt så lång som möjligt och möjligheten att dropparna förångas ökar.

Vid brandsläckning inomhus med vatten påverkas tryckförhållandet i brandrummet. Vatten som förångas ger en ökad gasmängd och därmed en tryckökning. Samtidigt kyls brandgaserna, vilket ger en minskad volym och därmed en trycksänkning. Beroende på hur vattnet används, kan förhållandena för en rökdykare inne i ett brandrum bli värre, eller i vissa fall bättre. Vad som är värst för branden är inte nödvändigtvis bäst för rökdykarna. Eller för eventuella kvarvarande andra personer.

Beroende på vilken teknik som används vid släckningen skapas antingen ett undertryck eller övertryck. Undertryck bildas i de flesta fall vid brandgaskylning och medför att frisk luft strömmar till. Vid kylning av bränsleytor ökar gasvolymen av det förångade vattnet och de expanderande brandgaserna måste strömma mot rökdykarna ut genom öppningen. Vid brandgaskylning å andra sidan, där vattnet förångas i brandgaserna utan att nå några heta ytor, krymper gasvolymen i brandrummet och rökdykarna kommer att känna hur frisk luft strömmar till utifrån.

Kyleffekten kan ses tydligt på vissa filmer där skärsläckare används: Startscenariot är tjock, mörk rök som bolmar ut under



2.108 På några sekunder slås branden ner. Den kraftiga ångbildningen tyder på att vattnet inte bara kylvärmer brandgaser utan även når heta ytor.

takfoten. När släckinsatsen startas upphör gasflödet tvärt och det är ett tecken på att gasmassan krympt. Någon sekund senare börjar ljusare rök bolma ut. Nu har gaserna kylts så mycket att vattnet passerar igenom dem och träffar heta ytor istället.

Volymförändring vid brandgaskylning

Hur stor förändringen av brandgasernas volym blir vid en släckinsats där ett dimstrålrör används för att kyla brandgaserna kan uppskattas med hjälp av allmänna gaslagen.

Före vattenpåförling: $P_0 V_0 = n_0 R T_0$

Efter vattenpåförling: $P_1 V_1 = n_1 R T_1$

Då trycket är i stort sett konstant i ett normalt brandrum blir förhållandet mellan brandgasvolymen efter och före vattenpåförling:

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{n_1 T_1}{n_0 T_0}$$

Att vatten förångas i brandrummet innebär två saker. För det första kommer brandgaserna att kylas eftersom det går åt energi för att värma upp vattnet. Då minskar brandgaserna i volym. För det andra kommer volymen att öka genom den tillförda vattenånga. Vilken av de två faktorerna som kommer att dominera beror på var vattnet förångas. Energin som åtgår för att förånga vattnet kan nämligen antingen tas från brandgaserna, eller från heta ytor i brandrummet.

P [Pa = N/m²] tryck

V [m³] volym

n [mol] mängden
gasmolekyler

R [J/molK] allmänna
gaskonstanten, 8,31

T [K] temperaturen

$C_{p,g}$	[J/molK] brandgasernas värme- kapacitet, ungefär som för ren luft, 33,2 vid 1 000 K
$C_{p,v}$	[J/molK] vattenångas värmekapacitet, 41,2 vid 1 000 K
b	[–] andelen vatten som förångas i brandgaserna
M_v	[g/mol] vattens molvikt, 18,0
$L_{v,v}$	[J/g] vattens förångnings- värme, 2260 (mot- svarar 40,68 kJ/mol)

Energien som åtgår att värma upp den hundrigradiga vatten-
ången vidare, tas alltid från brandgaserna.

Den mängd energi som brandgaserna avger är lika stor som
energin som går åt för att eventuellt förångas vattnet samt att
värma upp det till brandgasernas temperatur. Vi antar att pro-
cessen går så snabbt att ingen energi försvinner ur gasmassan;
systemet är adiabatiskt.

$$n_0 C_{p,g} (T_0 - T_1) = (n_1 - n_0) (b M_v L_{v,v} + C_{p,v} (T_1 - 373))$$

Detta innebär att

$$\frac{(n_1 - n_0)}{n_0} = \frac{C_{p,g} (T_0 - T_1)}{b M_v L_{v,v} + C_{p,v} (T_1 - 373)}$$

Uttrycket kan kombineras med uttrycket som ger volym-
förändringen. Formeln blir lång, men innehåller mest
konstanter.

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{n_1}{n_0} \frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{C_{p,g} (T_0 - T_1)}{b M_v L_{v,v} + C_{p,v} (T_1 - 373)} + 1 \right) \cdot \frac{T_1}{T_0}$$

Vid brandgaskylning förångas vattnet i de heta brandgaserna
och energin för förångning tas från brandgaserna, b är då 1.
Vid ytkylning av bränslet tas förångningsvärmefrån heta
ytor, vilket innebär att b är 0 och att brandgaserna tillförs
vattenånga med temperaturen 373 K (100 °C).

$$\text{Hjälp: } \left[\frac{n_1}{n_0} = \frac{(n_1 - n_0)}{n_0} + 1 \right]$$

Om brandgasernas temperatur var 873 K (600 °C) från början och de vid
ytkylning av bränslet kyls till 573 K (300 °C), ökar gasvolymen 1,5 gång eftersom

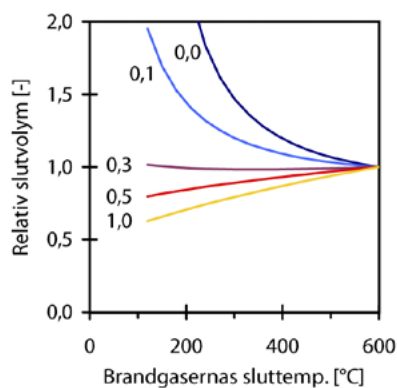
$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{34,0(873 - 573)}{41,2(573 - 373)} + 1 \right) \frac{573}{873} = 1,47$$

Om vattendropparna i stället förångas i brandgaserna blir volymförändringen

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{34,0(873 - 573)}{1 \cdot 18 \cdot 2260 + 41,2(573 - 373)} + 1 \right) \frac{573}{873} = 0,79$$

Volymen minskar i detta fall med en femtedel i brandrummet.

När ungefär 70 % av vattnet förångas mot heta ytor och 30 %
förångas i brandgaser vid 600 °C, tar de två effekterna ut var-
andra och gasvolymen är ungefär konstant. Det räcker alltså
att en relativt sett liten del förångas i brandgaserna för att
brandgasvolymen ska minska.



2.109 (ovan) Volymskillnaden i ett brandrum före och efter vattenpåföring, beroende på om vattnet sprutas mot heta ytor eller om det förångas i brandgaserna. Starttemperaturen är 600 °C i beräkningarna.

2.110 (t.v.) Brandgasernas volym ökar kraftigt när vatten sprutas mot heta ytor. Den spridda strålen gör att en stor yta täcks in, men räckvidden är begränsad.



2.111 Kombinerad skär- och släckutrustning. Med hjälp av högt tryck och tillsats av fin sand i vattnet kan vattenstrålen från skärsläckaren gå igenom de flesta material. Vattnet blir extremt finfördelat när strålen brutits upp.

Kylkapacitet

Kapaciteten hos kylningen av brandgaser kan uppskattas genom att ställa upp en energibalans. Om mycket finfördelat vatten används för att kyla brandgaser blir energibalansen

$$\Delta H_{v,v} m_v = \Delta T_g c_{p,g} V_g \rho_g$$

ΔH_v [kJ/kg] entalpiförändring hos vattnet vid förångning och uppvärmning	c_p [kJ/kg] värmekapacitet V [m ³] volym ρ [kg/m ³] densitet
m [kg] massa	g brandgas
ΔT [K] temperatursänkning	v vatten

där vänsterledet representerar energin som går åt för att förångna vattnet och högerledet den energi som tas från brandgaserna. Antalet m³ brandgaser som det är möjligt att kyla blir, räknat per kg vatten,

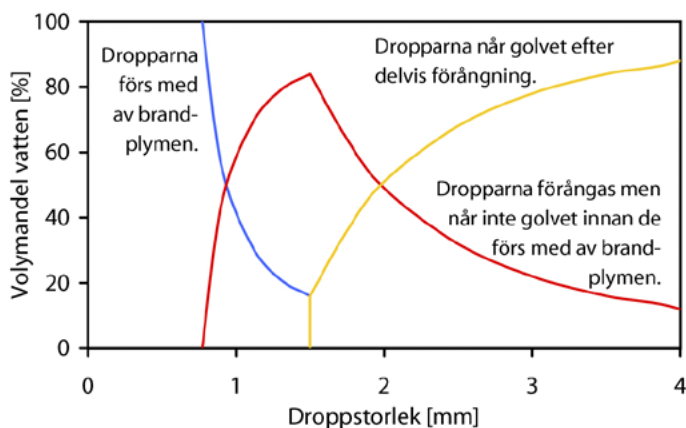
$$\frac{V_g}{m_v} = \frac{\Delta H_{v,v}}{\Delta T_g c_{p,g} \rho_g}$$

Om allt vatten förångas fullständigt och brandgaserna kyles från 600 °C till 100 °C blir detta

$$\frac{V_g}{m_v} = \frac{2260}{(873 - 373) \cdot 1,0 \cdot 353 / 873} = 11,2 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Skärsläckaren får sina släckegenskaper av de mycket små vattendropparna. Dropparna har en medelvolymsdiameter i storleksordningen 0,1 mm. Med flödet 50 l/min kan 560 m³ brandgaser kyla från 600 °C till 100 °C per minut. Skärsläckaren utgör därmed ett synnerligen effektivt redskap för brandgaskylning. Beräkningen förutsätter dock att allt vatten förångas fullständigt. En ytterligare effekt är att sprayen ger en kraftig omrörning, vilket sänker den maximala temperaturen. Då minskar värmestrålningen kraftigt, då den är proportionell mot T⁴. Det är värmestrålningen som driver övertändningsprocessen.

Trots att vattendropparna är så små, är vatteninnehållet i sprayen så litet när strålen brutits upp, att det inte är tillräckligt vare sig för att inertera eller för att släcka en diffusionsflamma, vilket skulle kräva 280 g/m³ respektive 140–190 g/m³. På 6 m avstånd är vattenhalten 140 g/m³ och på 7 m avstånd är halten vatten i luften 106 g/m³. Även om detta inte räcker för släckning, ger det en utmärkt kylning av brandgaserna. Detta kan räcka för att slå ner en övertänd brand och därmed möjliggöra en rökdykarinsats. Ytkylningseffekten är dock liten. (Skärsläckaren- tillkomst och utveckling, 2000)



2.112 Schematisk beskrivning av hur stor andel av vattnet som förångas, hur stor del som förs med uppåt av flammorna och hur stor del som passerar rakt igenom.

Vattendroppars fall och förångning

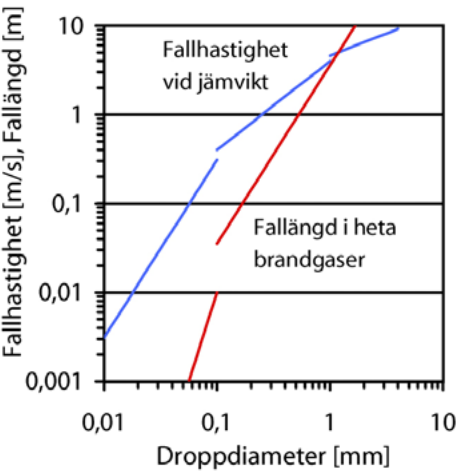
En förutsättning för brandgasernas volymförändring är att vattnet förångas, vilket inte alltid är fallet. De stora dropparna kommer att passera i stort sett opåverkade genom flammorna, medan de allra minsta kommer att förångas redan i de varma brandgaserna. Det är dropparnas storlek som avgör i vilken grad de förångas innan nedslaget.

Även små droppor kan överleva flera meters färd genom varma brandgaser. Detta har betydelse för hur ett strålrör ska hanteras praktiskt vid kylning av brandgaser. Om strålröret riktas så att vattendropparna snabbt slår i taket, blir kylverkan i brandgaserna begränsad. Ju längre vattendropparnas färd genom brandgaserna är, desto bättre blir kylverkan i brandgaserna.

Både vattendropparnas fallförlopp och förångning måste beaktas. En vattendroppe som faller fritt, kommer att öka i hastighet tills tyngdkraften balanseras av kraften från luftmotståndet. Droppens fallhastighet blir därefter konstant.

Droppar med en diameter mindre än 0,1 mm förångas mycket snabbt. Droppar större än någon mm i diameter hinner inte förångas i flammorna och bidrar inte så mycket till släckverkan i flammorna, såvida flamdjupet inte är mycket stort. Vattendropparna går i stort sett opåverkade rakt igenom flammorna.

2.113 Fallhastighet vid jämvikt, samt falllängd för fullständig förångning av vattendroppar i stillastående brandgaser enligt beräkningarna på följande sidor.
($T = 700^{\circ}\text{C}$, $k = 0,1 \text{ W/mK}$ och $Nu = 100 \sqrt{d \cdot v}$)



2.114 Ungefärlig hastighet hos vattendroppar som faller fritt vid rumstemperatur och atmosfärstryck. Krafterna från gravitation respektive luftmotstånd är i jämvikt (Herterich, 1960)

Droppdiameter	Fallhastighet
0 – 0,1 mm	$v = 31 \cdot 10^6 d^2$
0,1 – 1 mm	$v = 4 \cdot 10^3 d$
1 – 4 mm	$v = 150 \sqrt{d}$

v [m/s] fallhastighet
 d [m] droppens diameter

Vattendroppars förångning

När en vattenspray träffar varma gaser eller flammor överförs värme till vattendropparna som värms upp och börjar att förångas. Hos små droppar sker värmeöverföringen till största delen genom naturlig konvektion. Större droppar har högre hastighet och då blir konvektionen påtvingad. Värmeöverföringen till en droppe ges av

$$\frac{dQ}{dt} = hA\Delta T = h4\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2\Delta T = h\pi d^2\Delta T$$

$\frac{dQ}{dt}$ [W]	värmeöverföringen
A [m]	droppens yta
d [m]	droppens diameter
ΔT [K]	skillnaden mellan droppens och gasens temperaturer
h [W/m ² K]	konvektiv värmeövergångstal

En vattendroppes volym ges av

$$V = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$$

Volymförändringen hos droppen över tiden ges av

$$\frac{dV}{dt} = \frac{4}{3 \cdot 8} \pi \frac{dd^3}{dt} = \frac{4}{3 \cdot 8} \pi \cdot 3d^2 \frac{dd}{dt} = \frac{\pi}{2} d^2 \frac{dd}{dt}$$

eftersom

$$df(x) = f'(x) dx$$

Den allra största energimängden går åt för att förångna vatten. Energin som krävs för att värma upp droppen till kokpunkten är i stort sett försumbar vid en jämförelse. Energin som går åt till förångning kan skrivas som

$$- \frac{dQ}{dt} = H_v \rho \frac{dV}{dt} = H_v \rho \frac{\pi}{2} d^2 \frac{dd}{dt}$$

L_v [kJ/kg]	vattnets förångningsvärme = 2 260 kJ/kg
ρ [kg/m ³]	vattnets densitet = 1 000 kg/m ³
V [m ³]	vattendroppens volym

Då värmeöverföringen till droppen är lika stor som energin som åtgår till förångning kan de två uttrycken sättas lika:

$$- H_v \rho \frac{\pi}{2} d^2 \frac{dd}{dt} = h \pi d^2 \Delta T$$

Detta kan förenklas till

$$\frac{dd}{dt} = - \frac{2h\Delta T}{H_v \rho}$$

Ekvationen kan lösas genom att

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad k \text{ [W/mK] gasens värmeledningstal}$$

Det dimensionslösa Nusselts tal, Nu

$$Nu = 2 + 0,6 Pr^{0,33} Re^{0,5}$$

Pr, Prandtls tal, är ungefär konstant och definieras som

$$Pr = \frac{c\mu}{k}$$

Re, Reynolds tal beror av vattendroppens hastighet relativt den omgivande luften och definieras

$$Re = \frac{v d}{\nu}$$

Nu kan sambandet lösas, men lösningen beror av dropparnas storlek.

Förångning av mycket små droppar

Droppar mindre än 0,1 mm är så små att de är i vila relativt gasen. Då dominerar den naturliga konvektionen och Reynolds tal är nära noll. $Nu = 2$ och därmed $h = 2k/d$.

$$\frac{dd}{dt} = -\frac{4k\Delta T}{dH_v\rho}$$

Temperaturskillnaden antas vara konstant och uttrycket integreras.

$$\int_{d_0}^d d dd = -\frac{4k\Delta T}{H_v\rho} \int_0^t dt$$

$$\frac{d^2}{2} - \frac{d_0^2}{2} = -\frac{4k\Delta T}{H_v\rho} t$$

När diametern är noll har droppen förångats helt. Tiden det tar, droppens livstid, blir då

$$t_{liv} = \frac{d_0^2 H_v \rho}{8k\Delta T}$$

Då både livstid och fallhastighet för den lilla droppen är kända, kan falllängden beräknas. Eftersom hastigheten varierar med droppstorleken och droppen successivt minskar i storlek, måste uttrycket integreras.

$$\int_0^l dl = \int_0^t v dt$$

Hastigheten för en droppe mindre än 0,1 mm i diameter är $v = 31 \cdot 10^6 d^2$ m/s

$$d^2 = d_0^2 - \frac{8k\Delta T}{H_v\rho} t$$

$$\int_0^l dl = \int_0^t \left(31 \cdot 10^6 \left(d_0^2 - \frac{8k\Delta T}{H_v\rho} t \right) - v_c \right) dt$$

$$l = 31 \cdot 10^6 \left(d_0^2 t - \frac{8k\Delta T}{H_v\rho} \frac{t^2}{2} \right) - v_c t$$

I stillastående brandgaser, alltså om $v_c = 0$ blir den maximala falllängden [$d = 0$] vid

$$t_{liv} = \frac{d_0^2 H_v \rho}{8k\Delta T}$$

$$l_{max} = 31 \cdot 10^6 \cdot \frac{d_0^2}{2} \left(\frac{d_0^2 H_v \rho}{8k\Delta T} \right)$$

Falllängden är alltså lika med begynnelsehastigheten gånger halva livslängden. Den är också proportionell mot diametern upphöjt till fyra. Om gasen rör sig uppåt blir falllängden kortare. Droppen rör sig först nedåt till dess fallhastigheten motsvarar gasernas uppåtgående hastighet, därefter rör den sig uppåt. I stället för att sätta in droppens livstid, används den tid då $dl/dt = 0$. I praktiken blir falllängden för så små droppar som 0,1 mm så kort att dropparna förångas i stort sett direkt när de träffar varma gaser. Se figuren på sid 152.

Förångning av större droppar

I de fall där dropparna är större än 0,5 mm i diameter dominerar den påtvingade konvektionen över den naturliga. Fortfarande är Nusselts tal:

$$Nu = 2 + 0,6 \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{0,33} \left(\frac{vd}{\nu} \right)^{0,5}$$

Hastigheten hos dropparna är så stor att Nusselts tal blir mycket större än 2. Tvåan kan då försummas. Uttrycket innehåller många konstanter och för att underlätta beräkningarna framöver använder vi tillfälligt konstanten

$$C_1 = 0,6 \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{0,33} \left(\frac{1}{\nu} \right)^{0,5}$$

vilket ger

$$Nu = C_1 \sqrt{vd}$$

och

$$h = \frac{C_1 \sqrt{vd} \cdot k}{d}$$

Insatt i samma ekvation som för de små dropparna

$$\frac{dd}{dt} = - \frac{2h\Delta T}{H_v \rho}$$

ges

$$\frac{dd}{dt} = - \frac{2C_1 \sqrt{vd} k \Delta T}{d H_v \rho}$$

För droppar 0,1–1 mm är $v = 4 \cdot 10^3 d$ m/s

$$\frac{dd}{dt} = -\frac{2C_1 \sqrt{4 \cdot 10^3 d^2 k \Delta T}}{d H_v \rho} = -\frac{2C_2 k \Delta T}{H_v \rho}$$

där konstanten utökats till $C_2 = C_1 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^3}$

Integrering med begynnelse diameter d_0 vid tiden $t = 0$ ger

$$\int_{d_0}^d dd = -\frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} \int_0^t dt$$

$$d - d_0 = -\frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} t$$

När diametern är noll har droppen förångats.

Droppens livslängd blir då

$$t_{liv} = \frac{d_0 H_v \rho}{2kC_2 \Delta T}$$

Vanligtvis rör sig en vattendroppe vid en brand inte i stillastående luft. I brandplymen rör sig de varma gaserna uppåt med en hastighet som kan vara upp till 5–10 m/s. Detta gör att dropparnas fallhastighet måste vara större än den omgivande luftens upphastighet för att de ska falla nedåt. Den relativa hastigheten ges av

$$\frac{dl}{dt} = v - v_l \quad v_l \text{ [m/s] den konvektiva upphastigheten i luften.}$$

Droppens fallhastighet, beror av droppens diameter

$$v = 4 \cdot 10^3 d$$

$$d = d_0 - \frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} t$$

$$\frac{dl}{dt} = 4 \cdot 10^3 \left(d_0 - \frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} t \right) - v_l$$

Falllängden tills droppen vänder fås om ekvationen integreras över tiden.

$$\int_0^l dl = \int_0^t \left(4 \cdot 10^3 \left(d_0 - \frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} t \right) - v_l \right) dt$$

$$l = 4 \cdot 10^3 \left(d_0 t - \frac{2kC_2 \Delta T}{H_v \rho} \cdot \frac{t^2}{2} \right) - v_l t$$

Om brandgaserna inte är i rörelse blir den maximala falllängden [$d = 0$] vid

$$t_{liv} = \frac{d_0 H_v \rho}{2kC_2 \Delta T}$$

$$l_{max} = \frac{4 \cdot 10^3 d_0}{2} \left(\frac{d_0 H_v \rho}{2kC_2 \Delta T} \right)$$

Fallsträckan är alltså proportionell mot droppens ursprungliga storlek i kvadrat, se diagram på sid 154. Om brandgaserna rör sig uppåt blir den faktiska falllängden kortare.

Ytkylning

Det absolut vanligaste sättet att angripa bränder är genom att spruta vatten direkt på de brinnande bränsleytorna, som kyls så mycket att de inte längre avger tillräcklig mängd pyrolysgaser. Denna ytkylning kallas ibland för direkt släckning och är effektivast mot bränder som är begränsade till enstaka föremål och där tillgängligheten inte är något problem. Eftersom detta gäller merparten av alla bränder som räddningstjänsten agerar mot, blir denna metod också den vanligaste.

Metoden ställer inga större krav på exempelvis vattendropparnas storlek. De måste dock kunna nå brandhärden och ju snabbare bränsleytan täcks in, desto snabbare släcks branden. Det innebär att exempelvis enhetsstrålrör går att använda, men dimstrålrör är betydligt effektivare då träffbilden är större och jämnare.

Att ytan måste nå innebär att strålrör med extremt små droppar är mindre lämpliga, då dropparna riskerar att förångas innan de hunnit fram. De kan också ha så liten rörelsemängd att de inte orkar hela vägen fram.

När vattnets sprayas mot den heta ytan, absorberas värme genom att vattnet värms upp och förångas. Vattnets ångbildningsvärme är stort, och genom att rätt utnyttja det kan stora kyleffekter uppnås. En vattenstråle kan dock inte tränga igenom fasta föremål. Om ytverkan önskas, måste strålföraren kontinuerligt förflytta sig så att alla ytor som är involverade i branden kan täckas in. Att bränsleytorna ska täckas in betyder att strålföraren måste veta varifrån branden får sin

”Rikta strålen mot lågornas bas” är en vanlig text på handbrandsläckare. Orsaken bakom uppmaningen är att släckmedlet ger bäst ytverkan.



2.115 Det vanligaste sättet att släcka bränder är genom kylning av den brinnande ytan.

näring. Annars finns risken att strålföraren sprutar vattnet mot ställen där det inte finns något att släcka. Ett brinnande innertak och en trave med lastpallar kräver olika agerande av strålföraren. I det första fallet riktas strålen uppåt, i det andra framåt. Att släckningen har effekt syns i regel omedelbart utifrån. Brandgaserna skiftar färg och blir ljusare för att så småningom upphöra.

Vid släckning genom ytkylning kyls bränslet till en temperatur, som är så låg att materialet inte längre avger brännbara gaser i tillräcklig mängd för att underhålla branden. Släckningen sker alltså termiskt genom ytverkan.

I detta sammanhang kan retardenter nämnas. Retardenter kan utgöras av förtjockningsmedel som gör att vattnet blir klabbigt och fäster bättre på olika ytor. Ytan hålls därmed kyld och förhindras att brinna, en egenskap som gör att retardenter ibland används vid vattenbombning framför flamfronten vid större bränder. För att undvika alltför stora överlappningar kan ett färgämne tillsättas.

I vissa fall är det kylningen av ytan som är huvudpoängen, även om det inte påverkar branden. Det kan handla om att förhindra uppvärmningen av gasflaskor eller att säkerställa funktionen hos brandavskiljande byggnadsdelar genom att hålla dem kylda. Vattenförbrukningen blir stor då detta sätt att använda vattnet ofta måste pågå under lång tid.

Strålrörsspett går utmärkt att använda för att släcka exempelvis halmbalar och andra kompakta material.



Att med vattenstrålar försöka nå en dold brandhärd från långt håll är en synnerligen ineffektiv form av bränslekylning som ger upphov till stora vattenskador. Den bör därför endast användas när vattenskadorna är av underordnad betydelse, inga andra släckmedel eller metoder står till buds, vattentillgången är god och släckning bedöms som nödvändig.

Ett specialfall av ytkylning kan sägas vara när en brännbar polär vätska, som är blandbar med vatten, späds så mycket att den slutar att avge brännbara gaser i tillräcklig mängd för att underhålla branden.

En annan variant av ytkylning är när värmepåverkade gasflaskor eller brinnande batterier eller elfordon sänks ned i en bassäng eller container med vatten. Eller att bassängen konstrueras runt föremålet.

Även om det i många fall krävs kylning av material för att sänka temperaturen, bör det i vissa fall göras långsamt och med försiktighet. I normala byggnader spelar det liten roll, men i exempelvis historiska byggnader kan även själva konstruktionen ha ett värde. Detta gäller särskilt upphettade stenkonstruktioner, men även konstruktioner av tegel och betong. Är de kraftigt upphettade och sedan får svalna långsamt, kan de klara sig utan skador. Om det heta stenmaterialet kyles med vatten, kan det både spricka och spjälka loss ytskiktet.

2.116 På bara ett par sekunder slås branden ner där bränslet täcks in av vattenstrålen.

2.117 Under tiden som vattnet verkar kan strålföraren avancera.

Räddningsledaren konstaterar att vattenstrålarna inte kom åt vid en större lagerbrand: "Det var som att försöka släcka en kolmila".

I äldre tider skedde gruvdrift genom att berg upphettades och därefter kyldes hastigt. Snabba temperaturförändringar gör att stenen spricker och kan brytas loss med spett och slägga.

Vattnets kyleffekt

I de fall där vatten sprutas mot exempelvis en glödbädd eller en het stålkonstruktion kommer stora mängder vattenånga att bildas. Ångbildningen styrs av allmänna gaslagen, som med mängden gasmolekyler uttryckt som massan delat med molvikten blir

$$PV = \frac{m}{M}RT$$

P [Pa = N/m²] tryck
 V [m³] volym
 m [g] massa
 M [g/mol] molvikt
 R [J/molK] allmänna gaskonstanten, 8,31
 T [K] temperatur

1 000 g vatten (en liter) som förångas ger upphov till

$$V = \frac{mRT}{MP} = \frac{1000 \cdot 8,31 \cdot 373}{18 \cdot 101300} = 1,7 \text{ m}^3 \text{ vattenånga vid } 373 \text{ K (100}^\circ\text{C)}.$$

Värms vattenångan till 873 K (600 °C), skapas 4,0 m³ vattenånga ur en liter vatten.

Vatten som sprutas mot en het väggyta absorberar värme. För att utnyttja kyleffekten hos vattnet så effektivt som möjligt, måste andelen som förångas vara så stor som möjligt. Med ett litet vattenflöde, blir den relativa förångningen stor, men samtidigt ökar temperaturen på väggen. Risken är då att väggen kyls för lite. Med ett större flöde kyls väggen snabbt till en temperatur under 100 °C. Vattnet förångas då inte och den kylande effekten utnyttjas dåligt.

Q_v [kW/m²] kyleffekt
 $\dot{m}_v$ [kg/m²s] flödet av förångat vatten
 L_v [kJ/kg] vattnets ångbildningsvärme
 T_0 [°C] vattnets ursprungliga temperatur
 $c_{p,v}$ [kJ/kgK] vattnets värmekapacitet

Vatten som rinner ner längs väggen absorberar effekten

$$Q_v = \dot{m}_v c_{p,v} (T_1 - T_0)$$

och om vattnet dessutom förångas blir kyleffekten

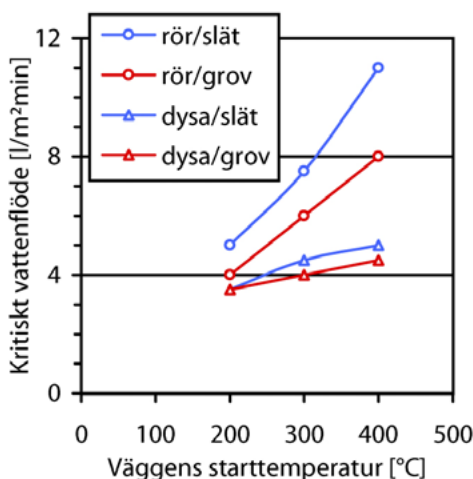
$$Q_v = \dot{m}_v L_v + \dot{m}_v c_{p,v} (100 - T_0)$$

Den maximala kyleffekten på en yta som vattenbegjuts med $1 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ blir: $Q = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 1/60 (100 - 20) + 2\,260 \cdot 10^3 \cdot 1/60 = 5\,600 + 37\,700 \text{ W/m}^2 = 43 \text{ kW/m}^2$. Vanligtvis förångas endast en del av vattnet.

Förångning av droppar mot heta ytor

Om en vägg ska kylas är det viktigt att skapa en sammanhängande vattenyta över hela väggen, då torra partier kan uppnå höga temperaturer. Den kritiska vattenpåföringen är det flöde som skapar en heltäckande vattenfilm över ytan. Ju högre ytans starttemperatur är och ju slätare ytan är, desto mer vatten går det åt. En grov ytstruktur gör att det tar längre tid för vattnet att rinna längs väggen. Vattnet hinner då att ta upp mer värme och ger en bättre kyleffekt (Lundqvist, 1991).

Beroende på om syftet är att kyla ytan maximalt eller att skapa maximal ångbildning blir vattenbehovet olika. För maximal ångbildning får inte så mycket vatten appliceras att ytan kyls under 100°C . För detta krävs en mycket liten vattenmängd, i storleksordningen $0,1 \text{ l/m}^2\text{min}$, mycket beroende på värmeledningsförmågan, densiteten och värmekapaciteten hos ytskiktet. Om mycket energi kan lagras i ytskiktet, finns också mycket energi som kan användas för att förångas vattnet. Normalt accepteras inte en så hög yttemperatur att förångningen blir god. Därmed krävs ett större flöde, i storleksordningen $1 \text{ l/m}^2\text{min}$.



2.118 Vid utvärdig släckning med sluten stråle utnyttjas sällan vattnet effektivt. Här används tekniken för att hindra brandspridning i väntan på invändig insats och att stegen hunnit resas. Strålen splittras mot innertaket och vattendropparna sprinklas ut över brandrummet.

2.119 Kritisk vattenpåföring för kylning av en ställvägg som är utsatt för kraftig brand på ena sidan och vattenbegjutning på den andra. Det nödvändiga vattenflödet beror av starttemperaturen (Lundqvist, 1991).

We	[–] Webers tal
ρ_v	[kg/m ³] vattens densitet
v	[m/s] droppens kollisionshastighet
d	[m] droppens diameter
σ	[N/m] vattnets ytspänning vid mättnadstemperaturen

2.120 Fall I: När $We = 30$ bildar droppen en jämntjock film på metall-ytan, kontraheras på grund av ytspänningen och lämnar sedan ytan utan att dela sig.

Fall II: Med $We = 100$ blir förloppet likartat som i fall 1 men droppen delar sig i två eller flera smådroppar som sedan lämnar ytan.

Fall III: Med $We = 400$ sker filmbildning med samtidig finfördelning till små droppar längs kanterna. Därefter följer sönderdelning av droppen till mycket små droppar.

Vattendroppars kollision

Värmeöverföringen från en het yta till vattendroppar beror av dropparnas kollisionshastighet, dropparnas diameter och väggens temperatur. Webers tal, We , är ett dimensionslöst tal som används för att beskriva förhållandet vid kollisionen.

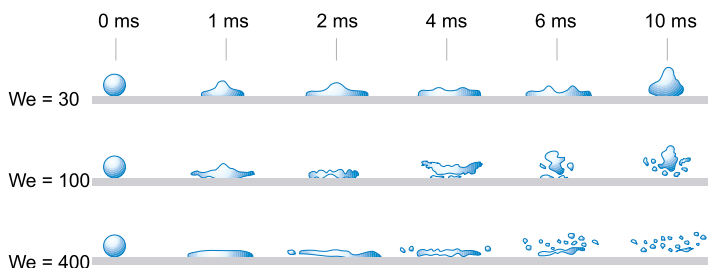
$$We = \rho_v v^2 d / \sigma$$

Vid försök har det visat sig att droppen bryts sönder mot pole-rade metallytor vid Webers tal större än ungefär 80.

Droppens beteende då den träffar ytan har stor inverkan på värmeöverföringen till droppen. Ju längre tid droppen stannar på ytan, desto större blir uppvärmningen. Efter stöten mot ytan breder droppen ut sig till en tunn, jämntjock film. Därefter börjar droppen åter dras ihop på grund av ytspänningen.

Värmetransporten från en slät och het yta till en vätska sker effektivast då vätskan är i kontakt med ytan. Det finns en övre gräns för ytans temperatur, över vilken vätskekylning blir ineffektiv. Denna temperatur kallas för Leidenfrost-temperaturen. Fysikaliskt innebär det att vätska som sprutas på en yta, som har en temperatur över Leidenfrosttemperatu-ren blir isolerad från ytan av ett ångskikt. En slät yta som har en temperatur över Leidenfrosttemperaturen går alltså inte att blöta. Leidenfrosttemperaturen för vatten mot metaller är ungefär 300 °C. Det blir därmed inte lätt att nå en hög förång-ningsgrad vid vattenbegjutning av mycket heta metallytor.

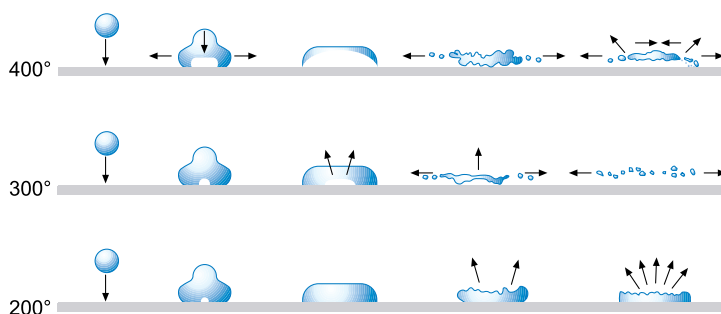
Droppens förångning beror på ytans temperatur. Vid en ytemperatur om cirka 400 °C börjar ångbildningen mitt under droppen. Ångzonen sprider sig snabbt och när droppen brett ut sig är endast en liten del av vattenfilmen i kontakt med ytan. Strax efter det att droppen är som mest utbredd har ångzonen nått ut till filmens kant. Vattendroppen är därmed isolerad från den varma ytan av ett ångskikt och värmetran-sporten från ytan till droppen blir liten. Avkokningen sker från filmens undersida vilket fyller på ångskiktet. Detta är förkla-ringen till varför en vattendroppe på en het spisplatta överle-ver förvånansvärt länge.



Om ytemperaturen i stället är 300 °C förblir en stor del av filmen i kontakt med ytan, även när den är som störst.

De yttre delarna av filmen kokar och ångan kastas ut längs ytans plan. Filmerna förtunnas mest i mitten varefter hela filmen förtunnas utan att dras ihop. Kokning i ytterkanten sänker ytspänningen, vilket medför att sammandragningen av filmen stoppas. Kylningen i detta fall är större än för ytan vid 400 °C.

Vid ytemperaturen 200 °C sker förångningen långsamt i hela kontaktytan mellan vatten och metall.



2.121 Förångning av typ II, ytemperatur 400 °C. Ett ångskikt bildas under vattenfilmen och verkar isolerande. Värmetransporten från metall-ytan till vattnet blir liten.

Vid ytemperaturen 300 °C är en stor del av vattnet i kontakt med ytan när droppen är som mest utdragen. Kylningen i detta fall är större än vid ytemperaturen 400 °C.

Vid ytemperaturen 200 °C sker förångningen av droppen långsamt på hela kontaktytan mellan vatten och metall. Kyleffekten är mycket stor.

Vatten som gasformigt släckmedel

Släckning med vattenånga, det vill säga att använda vattnet som ett gasformigt släckmedel, kan vara effektivt i de fall där brandgaskylning inte är lämplig. Observera att vattnet är i gasfas och därmed blir det ointressant att tala om droppstorlek. Metoden kallas ibland indirekt släckning och används endast mot fullt utvecklade bränder och kräver ett slutet utrymme och möjlighet att förånga vatten. Metoden fungerar bäst i mindre utrymmen.

Med en spridd vattenstråle fuktas alla heta ytor som kan nås, oftast taket och brandhärden. Observera ordet fuktas. Om för mycket vatten sprutas på ytan kommer värmen att gå åt till uppvärmningen till kokpunkten och endast en liten del förångas. Bättre är att endast en mindre mängd vatten fuktar ytan och att allt ges möjlighet att förångas. Först därefter sprutas ytterligare vatten över ytan. Allra bäst effekt fås om det finns stora och heta ytor i rummet, vilka ger sig till känna genom samma fräsande ljud som när vatten hålls på ett bastuaggregat.

Det är en fördel om släckningen kan göras med spridd stråle från utsidan in genom en liten öppning i ett för övrigt stängt brandrum. Då slipper strålföraren att utsätta sig för den varma ångan. Vattnet förångas och vattenångan fyller brandrummet. Är dörren öppen till angränsande rum kommer vattenångan att sprida sig även dit och slå ner bränder. Vattenångans förmåga att slå ner bränder i intilliggande utrymmen gör att metoden även kallats indirekt släckning (Molin, 1955).

När branden slagits ner och dämpats, kan den angripas genom kylning av bränsleytor. Om branden inte dämpats efter första försöket, kan proceduren upprepas. Efter utvecklingen av strålrör för brandgaskylning har metoden minskat i användning. Om riskerna med en invändig släckinsats bedöms som orimligt höga, kan indirekt släckning dock komma ifråga, då brandmännen inledningsvis agerar utanför brandrummet snarare än inne i det.

I de fall där vattnet behöver appliceras i ett slutet utrymme kan ett munstycke som sprider vattnet åt alla håll förlängas till ett applikatorrör. Genom att sticka in applikatorröret genom en källarvägg eller genom ett bjälklag kan bränder slås ner. Ett invändigt angrepp kan därmed anstå tills branden redan slagits ner.



2.122 Genom att borra hål i väggen (bormaskinen står till höger) och sticka in ett applikatorrör minskas värmepåverkan på brandväggen.

Vid en vindsbrand där taket ännu inte brunnit igenom, kan släckning ske genom att med dimspik eller skärsläckare förånga vatten där branden bedöms som mest intensiv. Omedelbart vid vattenpåföring kyla brandgaserna och det skapar ett undertryck som helt vänder utströmningen av brandgaser. Strax därefter når vatten heta ytor och en kraftig ångbildning sker. Ljusa gaser strömmar nu ut med hög hastighet. När hastigheten sjunkit på brandgaserna som lämnar byggnaden kan en traditionell insats göras för att förhindra återantändning.

Vid soteld används vattenånga och minskning av syretillförseln för att hålla temperaturen nere i skorstenen. Med en kätting hålls pipan öppen och brinnande material slås ner i eldstadsbotten där det kan begjutas med lite vatten. Genom att samtidigt reglera draget kan förbränningen begränsas och pipan brännas ur under kontrollerade former. Vattenången och den begränsade lufttillförseln kommer att hålla nere temperaturen på en acceptabel nivå.

Vattenåtgång

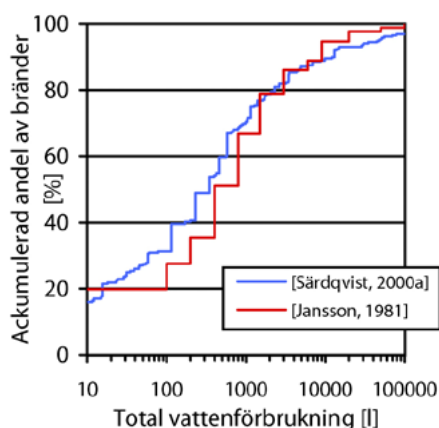
Verktyg och därmed vattenåtgång väljs efter situationen. Vid en mindre lägenhetsbrand kan ett dimstrålrör kopplat till centrumrulle och högtryckspump vara ett lämpligt verktyg. Vid en industribrand kan det vara bättre med ett lågtryckssystem och ett något större dimstrålrör. Är strålningsvärmesvår alltför hög kanske en oscillerande dimkanon blir nödvändig. Räknar man med en långvarig insats räcker det ofta med små flöden för att exempelvis fukta en yta för att förhindra antändning. Å andra sidan blir den totala vattenåtgången ofta minst om man går upp i flöde och drar på rejält under insatsens inledning. Verktuget måste väljas efter vilken effekt som ska uppnås.

Två faktorer avgör dimensioneringen av släckvatten. Dels hur mycket vatten som faktiskt krävs för att släcka branden, dels, vid invändiga rökdykarinsatser, hur mycket vatten en rökdykare behöver för att skydda sig själv.



2.123 När vattenånga ska användas för släckning fuktas heta ytor, varefter rummet sluts till.

”Vid brand eller risk för brand ska rök- och kemdykare för sitt skydd ha säker tillgång till släckvatten.” (AFS 2007:7, 12§)



2.124 Använd vattenmängd vid släckinsatser, enligt Jansson (1981) och Särdqvist (2000).

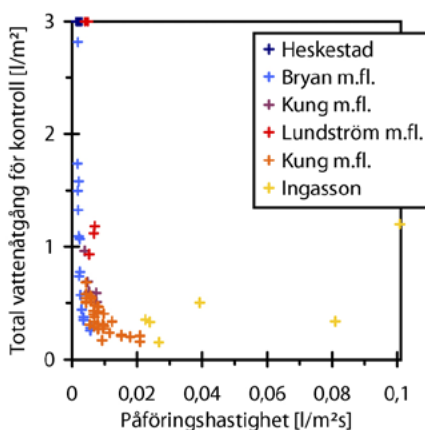
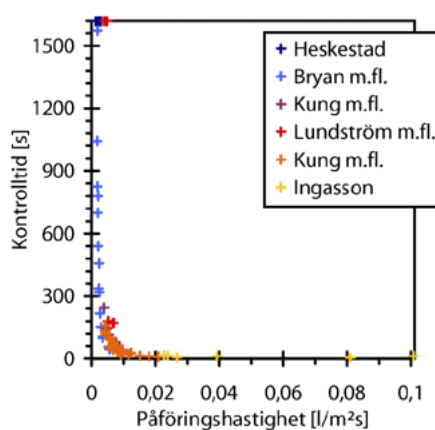
2.125 Brandens omfattning vid räddningstjänstens framkomst (Räddningstjänst i siffror, 1999).

Säker tillgång till vatten för sitt eget skydd innebär att vattenförsörjningen är pålitlig och att det inte finns risk för vattenbortfall för rökdykarna. Detta är bakgrunden till varför det finns en person med ansvar för vattenförsörjningen vid rökdykarinsatser, samt att släckbilar utrustas med automatiska övervakningssystem som varnar vid vattenbrist eller fel på pumpen.

Säker tillgång till släckvatten kan tolkas som det vattenflöde som går åt för att kunna slå ner en övertänd brand i det utrymme rökdykarna tränger in i, alternativt det flöde som krävs för att skydda sig vid en reträtt. Det minsta acceptabla flödet är med andra ord inte detsamma om det brinner i en mindre lägenhet eller i en högriskindustri. Praxis för de flesta miljöer har utvecklats från att kräva ett dimstrålrör kopplat till max två längder manöverslang från grenröret till att omfatta även högtryck/förhöjt lågtryck med centrumrullad formstyv slang och dimstrålrör.

Samtidigt måste en riskbedömning göras vid varje räddningsinsats. Inget av räddningstjänstens nuvarande system klarar av att häva en initierad backdraft eller brandgasexplosion, de är alltför snabba. En övertändning i ett rum går dock att slå ner. Vattenförbrukningen för detta styrs av bland annat rummets storlek, mängden och fördelningen av bränslet samt lufttillgången.

Vid de flesta bränder används vatten som släckmedel. Oftast används inte mer än den medhavda mängden. För bränder som är begränsade till startföremålet räcker det medhavda vattenet i en släckbil normalt utan problem. En undersökning av

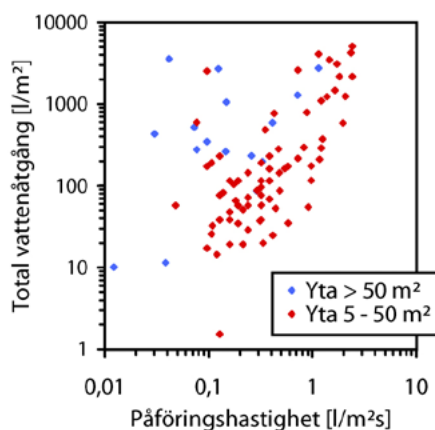
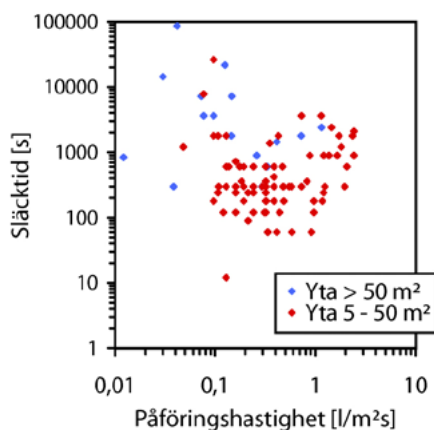


knappt 130 000 räddningsinsatser vid brand i byggnad visade att vatten användes vid 56 000 eller knappt hälften av fallen. Vattnet kom från enbart släckbilen i 62 % av dessa. Enbart släck- och tankbil användes i 16 % och brandpost användes i 16 % av fallen. För bränder i ett helt rum och för större bränder krävs uppkoppling mot brandpost eller fler fordon med vatten. Öppet vatten användes vid 5 % och branddammar användes vid 1 % av insatserna (Frindberg, 2012). Spridningen är dock stor i statistiken, vilket innebär problem om statistiken ska användas för dimensionering. En uppskattning av vattenförbrukningen vid bilbränder i Storköpenhamn 2018 visar att 74 % släcks med högst 300 liter vatten och 95 % med högst 600 liter. Återstående 5 % svarar för nästan 20 % av den totala åtgången, med volymer på upp till 2 000 liter (Skovlund, 2019).

Träbränder kan släckas med mycket låg påföringshastighet, ned till ungefär 0,1 l/m²min vid experiment, men då är släcktiden i det närmaste oändlig. Vid det flöde där vattnets släckkapacitet utnyttjas bäst är flödet 0,6–1,8 l/m²min. Kontrolltiden är då endast cirka 10 sekunder, och den totala vattenåtgången blir 0,15–0,35 l/m². Med yta avses här den exponerade träytan (Särdqvist & Holmstedt, 2001).

2.126 Total vattenåtgång som funktion av påföringshastigheten vid experiment (efter Särdqvist & Holmstedt, 2001).

2.127 Kontrolltiden som funktion av påföringshastigheten vid experiment (efter Särdqvist & Holmstedt, 2001).



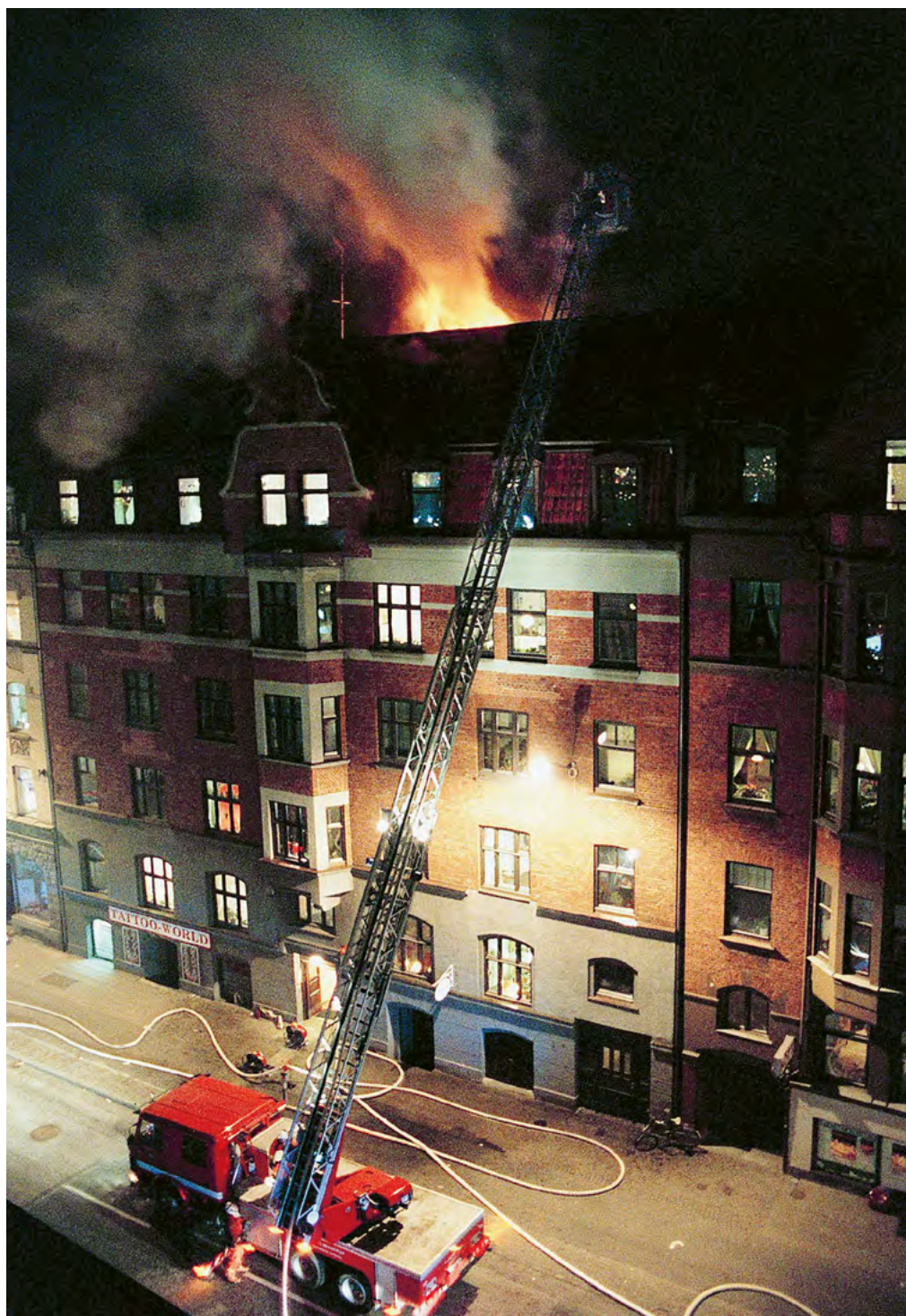
2.128 Total vattenåtgång som funktion av påföringshastigheten vid verkliga bränder (efter Särdaqvist & Holmstedt, 2001).

2.129 Släcktiden som funktion av påföringshastigheten vid verkliga räddningsinsatser (efter Särdaqvist & Holmstedt, 2001).

2.130 (motstående sida) I många fall är det brandens åtkomlighet som avgör släckinsatsens effektivitet och därmed vattenåtgången.

Vid praktisk brandsläckning åtgår mer vatten. Skälen är flera och beror ibland på rena definitionsfrågor och ibland på hur släckinsatsen optimeras. En studie från 1990-talet identifierade den kritiska vattenpåföringen, där tiden är mycket lång, till 7–8 l/m²min. Här avses golvytan och inte bränsleytan. Då vattnet utnyttjas optimalt har vattenflödet ökat till 9–15 l/m²min. Den totala vattenåtgången blir 30–120 l/m² och släcktiden cirka 5 minuter eller 300 sekunder. Flödet är alltså cirka tio gånger större vid verkliga bränder än vid experimenten. Förklaringen ligger bland annat i definitionen av brandyta. Bränsleytan är normalt minst dubbelt så stor som golvytan. Utnyttjandegraden av vattnet kan också påverka, vilket skulle kunna förklara varför flödet för verkliga bränder är ungefär fem gånger högre än vid motsvarande experiment (Särdaqvist & Holmstedt, 2001).

Släcktiden vid verkliga bränder är cirka trettio gånger längre än kontrolltiden i experimenten. Det förklaras bland annat av valet av kontrollkriterium. Vid experiment används ofta ett kontrollkriterium där branden ännu inte är helt släckt, medan brandmannen vill vara säker på att branden är släckt. Detta innebär att den verkliga tiden blir fem gånger längre beroende på olika definitioner av tidsbegreppet.





2.131 Vid större bränder bestäms släckvattenflödet i praktiken ofta av hur många strålar som får plats på bred front.

Att brandmän öppnar och stänger strålröret gör att vatten strömmar ur strålröret under mindre än hälften av släcktiden. Vid experiment ges en fördel av att situationen är inövad i förväg. Dessa faktorer, tillsammans med faktorer som rör osäkerheter i mätningar av brandvattenflöden och brandstorlekar, förklarar skillnaderna mellan mätningarna vid experiment och verkliga bränder. Då skillnaderna i flöde och tid kan förklaras innebär det också att skillnaden i total vattenmängd, ungefär trehundra gånger, kan förklaras.

Även brandens skala påverkar, vilket illustrerades av en studie av brittisk brandsläckning med data från 2015. Vid byggnadsbränder upp till 20–50 m², vilket är 80–90 % av fallen, använder brandmännen sitt standardstrålrör, ofta dimstrålrör på centrumrulle. Detta verktyg är kraftigt överdimensionerat vid små bränder och används mer och mer effektivt ju större branden blir. När standardstrålröret byts till ett annat eller flera ligger vattenpåföringen på 5,4–6,0 l/m²min. Här någon-

stans ligger alltså den optimala påföringen. Ju skickligare strålföraren är, desto större brand kan hanteras med samma verktyg (Särdqvist m.fl. 2019).

Släcktiden är normalt mycket kort i dessa fall. Om en rökdykargrupp gör en släckinsats mot en invändig brand, men brandgaserna bibehåller sin färg eller till och med mörknar, är det troligt att släckinsats och brandförlopp inte sker på samma ställe.

Vid de cirka tio procent av bränderna som är 20–50 m² upp till 200–500 m² är påföringen av vatten proportionell mot brandens omkrets snarare än dess yta. Fler strålar, med ett totalt flöde om något tusental liter per minut används, och de sprids ut för att omringa branden. Även om flödena är större blir vattenpåföringen per kvadratmeter successivt mindre med ökande brandstorlek. Vid de största bränderna i intervallet har vattenpåföringen sjunkit till 3,5–4,0 l/m²min. Denna nivå innebär i praktiken en kritisk vattenpåföring. Även här gäller att ju skickligare insatsstyrkan är, desto större brand kan den hantera (Särdqvist m.fl. 2019).

När bränderna, någon enstaka procent av antalet, överstiger 200–500 m² finns inte längre något samband mellan brandyta och släckmedelspåföring. Räddningstjänsten använder sitt maximalt tillgängliga flöde om några tusen liter per minut, oavsett brandyta. Insatsstyrkan är i praktiken underlägsen branden. Även om vattnet vid storbränder endast används till begränsningslinjer gör tidsaspekten att totalvolymen ändå blir stor (Särdqvist m.fl. 2019). Detta vattenbehov kan i många fall endast tillfredsställas genom motorsprutor vid öppet vattentag. Många brandpostnät har för dålig kapacitet och tankbilar i skytteltrafik har svårt att ge tillräcklig uthållighet.

Ett par av skälen till att större bränder är svårsläckta handlar om geometri och logistik. Vissa bränder är så stora att strålrören inte kan komma tillräckligt nära för att träffa rätt och därmed inte heller släcka. Vattnet från strålrören måste nå fram till brandhärden. Logistikerna handlar om att få fram rätt utrustning med personal till rätt plats. Det kräver kunskap om branden och dess utveckling, en kunskap som inte alltid finns i förväg.

Vid riktigt stora bränder kan förstärkningsresurser behövas. MSB har förstärkningsresurser för bland annat skogsbrand på ett antal platser med en eller två depåer på varje plats. Varje depå består av tre containrar innehållande 23 km brandslang (76, 42 och 25 mm), motorsprutor (en klass 3, två klass 2 och fyra mindre), en sexhjulig med släp, slangupprullare, vattenspridare, motorsågar, grenrör, strålrör och vattenbehållare, elverk för belysning samt bränsledunkar.

Dessutom har MSB i likhet med släckmedelscentralen SMC tillgång till högkapacitetspumpar för vattentransport där varje pump har en kapacitet om 15 m³/minut. Fyra km slang följer med, så den kan transportera vatten långa sträckor och är lämplig vid både översvämning och skogsbrand. Pumpresursen har delvis automatiserad slangutläggning och upprullning. När högkapacitetspumparna används följer personal med och sköter driften.

2.132 Angjord pump från MSBs förstärkningsresurs.



Andra samband för vattenåtgång

Det finns även statistiska undersökningar av vattenåtgången vid manuell brandsläckning. Det är dock stor spridning i dataunderlagen. Räddningstjänstens totala vattenförbrukning vid bränder är ungefär direkt proportionell mot brandytan. (Särdqvist, 1999)

- $V = 115 \cdot A^{1.1}$ Studie från 1998 av mindre bränder i brittisk storstadsbebyggelse. Tonvikten ligger på släckning av mindre bränder med dimstrålrör på centrumrulle.
- $V = 123 \cdot A^{1.2}$ Studie från 1972 av medelstora och stora amerikanska bränder.
- $V = 940 \cdot A^{0.8}$ Studie från 1959 av brittiska storbränder. Bränderna var större än 200 m² och fler än fem större strålrör användes.

V [l] Total vattenförbrukning

A [m²] Brandens horisontella yta

En balans mellan energin som syret i en given luftvolym kan frigöra och den energi som krävs för att producera lika stor volym vattenånga gav sambandet (Royer & Nelson, 1962)

$$q = 1,34Ah$$

q [l/min] nödvändigt vattenflöde
 A [m²] rumsyta
 h [m] rumshöjd

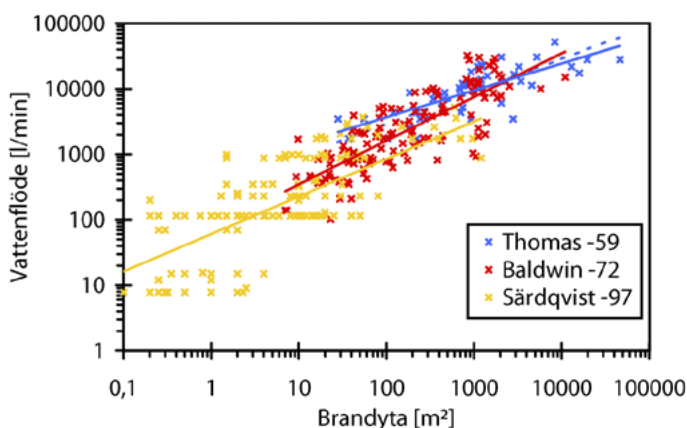
Vid denna dimensioneringsmetod används vattnet som ett gasformigt släckmedel. Sambandet bygger på konstaterandet att lika mycket energi frigörs, räknat per mängd syre som går åt, nästan oavsett vad som brinner.

Insurance Services Office föreslår, med samma enheter, flödet (Linder, 1991)

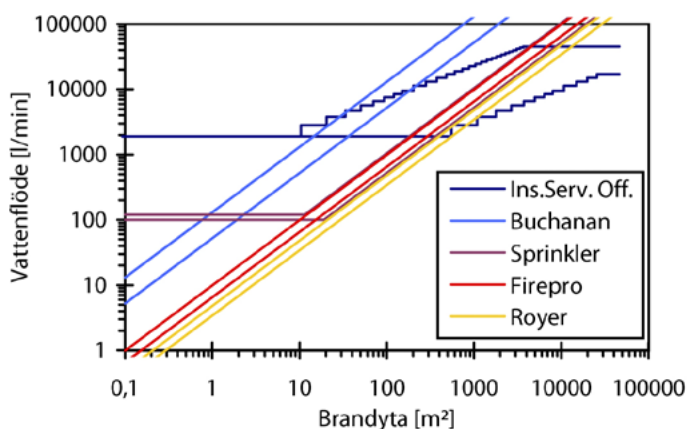
$$q = 220\sqrt{A} \cdot k$$

k är en konstant som tar hänsyn till byggnadens konstruktion, inredning, samt risken för brandspridning. $k = F \cdot O \cdot (X+P)$, där F beror av byggnadstyp och varierar mellan 0,6 och 1,5, O beror av hur brännbar inredningen är och varierar mellan 0,75 och 1,25. Faktorn X och P ger ett tillskott ifall det finns angränsande byggnader respektive dörrar till angränsande byggnad. För en medianbyggnad blir $k = 1$. Uttrycket är dock starkt förenklat här. Dessutom finns lägsta och högsta flöden angivna.

2.133 Påföringshastighet som funktion av brandens yta vid tre undersökningar av Räddningstjänstens vattenförbrukning och ett antal experimentella studier. Ytan avser horisontell brandyta. (efter Särdaqvist, 1999)



2.134 Påföringshastighet som funktion av brandens yta efter tillgängliga modeller för dimensionering. Ytan avser horisontell brandyta. (efter Särdaqvist, 1999)



Vattenåtgång för sprinkler

För sprinkler finns det olika anvisningar för dimensionering av sprinkleranläggningar, exempelvis SBF 120:8 (2016), utgivna av Svenska Brandskyddsföreningen. Anvisningarna grundar sig till största delen på erfarenheter från inträffade bränder och enskilda försök. NFPA ger ut motsvarande amerikanska sprinklerrekommendationer.

Beroende på syftet med sprinklersystemet kan olika regelverk användas för dimensionering och utförande. Vad som ska skyddas och vilka begränsningar som sätts för sprinklerinstallationen avgör hur systemet dimensioneras. Beroende på typ av material som brinner, lagrad mängd per ytenhet och lagringshöjd krävs olika vattentäthet.

Vattentätheten enligt dessa rekommendationer är för låg riskklass, normalt bostäder och offentlig miljö, 2,25 l/m²min

under minst en halvtimme och med 80 m² verkningsyta. För normal industri rekommenderas 5,0 l/m²min under en timme. Verkningsytan varierar med typen av anläggning. För högriskanläggningar rekommenderas 7,5–12,5 l/m²min och för högrisklager upp till 30,0 l/m²min, med en och en halv timmes varaktighet och upp till 300 m² verkningsyta.

Går det att dimensionera räddningstjänsten efter sprinklerrekommendationerna? Som en jämförelse med sprinkler skulle räddningstjänsten kunna hantera en brand i en lägenhet som är 67 m² med samma dimensionering, 2,25 l/m²min, om ett strålrör som ger 150 l/min används. För att klara samma yta vid en industribrand och 5,0 l/m²min, skulle krävas 330 l/min. Det finns klara skäl att använda mindre och därmed lätthanterligare och snabbare strålrör vid bränder i byggnader med låg riskklass och större strålrör vid högre riskklass.

Allteftersom beräkningsmodeller tas fram sker en övergång till dimensionering efter beräkning. Begreppen RDD, required delivered density och ADD, actual delivered density, används vid brandförsök vid lagersituationer, för att avgöra hur stor vattentäthet som krävs för brandscenariot, respektive hur stor vattentäthet som systemet faktiskt kan prestera.

Vattnets begränsningar

Vattnet är ofarligt i sitt normaltillstånd och bildar inga farliga nedbrytningsprodukter. Det är dessutom ofarligt för de flesta material, i alla fall på kort sikt. Dock kan ämnen som är giftiga, frätande med mera lösas i vattnet.

Skada på människa

En risk vid användning av vatten som släckmedel är att strålen kan komma i kontakt med till exempel högspänningsledningar eller transformatorer och därmed skapa en strömkrets genom strålföraren. Säkerhetsavstånd till spänningsförande delar eller ledare finns reglerade av Elsäkerhetsverket. Grundprincipen är att en person eller elektriskt ledande utrustning aldrig av misstag ska kunna komma i kontakt med spänningsförande delar.

Framförallt slutna strålar innebär en potentiell fara vid brandsläckning nära elektriska anläggningar. Detta gäller oavsett om färskvatten eller havsvatten används, rent eller förorenat. En sluten vattenstråle leder ström, men när den brutits upp i vattendroppar avtar den ledande förmågan. Då har det kommit luft, som inte är elektriskt ledande, mellan vattendropparna.

Dimstrålar kan alltså användas med normala säkerhetsavstånd. En stråle som ännu inte brutits upp får däremot inte riskera att komma i närheten av spänningsförande delar. Då ska strålen som helhet vara utanför säkerhetsområdet. Eftersom det går att få en samlad stråle ur dimstrålrör öppnas även dessa med hänsyn till skyddsavståndet för sluten stråle. När strålbilden sedan ställts in kan strålen användas med lämpligt säkerhetsavstånd.

Vidare kan en felanvändning medföra risker, exempelvis vid släckning av brand i heta oljor eller metaller med vatten som släckmedel.

Om endast kylning av heta ytor praktiseras vid rumsbrand kan en häftig ångbildning ske. Den bildade ångan kan, beroende på brandmännens placering, leda till värmegenomslag genom skyddsklädseln med brännskador som följd.

Släckning med vatten kräver att strålföraren arbetar nära branden, vilket innebär särskilda risker. Det kan till exempel handla om risken för exploderande gasflaskor, risken för ökad värmepåverkan beroende på övertändning och backdraft, eller ras av brandpåverkade konstruktioner.

En risk som tillkommit är hudupptag av giftiga ämnen i brandgaserna, exempelvis vätefluorid från värmepåverkade batterier.

Vattens skador på miljön

Kontaminerat släckvatten handlar om den del av släckvattnet som inte förångas utan blir kvar på brandplatsen. Det innehåller, förutom vatten, föroreningar av tre slag. Restprodukter från bränslet kan vara i alla steg av nedbrytning från det ursprungliga bränslet till mer eller mindre rent sot. De ämnen som tvättas ur brandgaserna tillhör denna kategori. Många ämnen är i gasform i brandgaserna, men kondenserar vid nedkylning och fastnar på partiklar som hamnar i vattnet. Ju sämre förbränningen är, desto mer föroreningar bildas. Den andra gruppen ämnen är de som funnits på brandplatsen sedan

tidigare och som inte nödvändigtvis deltagit i branden. Vid släckningen tvättas de ut och kontaminerar släckvattnet. Slutligen innehåller vattnet de eventuella tillsatser som använts vid släckinsatsen.

Förekomsten av främmande ämnen i vattnet styrs av hur vattnet använts. Vatten som använts för kylning av hotade konstruktioner kommer endast att innehålla ämnen som fanns på platsen från början och som tvättas ut. Vissa tillsatser förbättrar den urtvättande förmågan och föroreningsgraden ökar. Vatten som används mot själva branden eller för att tvätta ur brandgaser får ett betydande tillskott av restprodukter från branden och även här kan lösligheten för föroreningar öka med olika tillsatser.

Miljöproblemen med ämnena handlar om hur lätt de bryts ner i naturen, om de kan ansamlas någonstans i ekosystemet och hur giftigt det är: persistens, bioackumulering och toxicitet. Det finns några stora grupper av föroreningar i kontaminerat släckvatten (Norberg, Lithner, 2013):

- Polycykliska aromatiska kolväten, PAH, är ett stort miljöproblem; här finns ämnen som är både persistenta, bioackumulerande och cancerframkallande.
- Lättflyktiga organiska föreningar, VOC, förorenar släckvattnet vid flertalet bränder.
- Metaller, varav flera är tungmetaller, samt vissa andra icke-metalliska grundämnen är många till antalet och förekommer i höga koncentrationer.
- En grupp ämnen förekommer i små halter men är desto giftigare, många av dem är både persistenta, bioackumulerande och toxiska. Hit hör både dioxiner och bromerade flamskyddsmedel. Gemensamt för dem är att de är organiska och att flertalet väteatomer har ersatts med halogener som fluor, klor och brom. Ämnena binds i många fall till partiklar och kan på så vis hamna i vattnet.
- Vid brand kan det dessutom bildas ämnen som kan göra vattnet både surt och basiskt. I en studie uppmättes pH-värden mellan 2,2 och 9,1.
- Partiklar eller uppslammat material är vanligt i i kontaminerat släckvatten. Dessutom förekommer stora mängder organiskt material, vilka kräver syre för att brytas ned. Syreåtgången mäts som Biological chemical index, BOD, eller Chemical oxygen index, COD.

Vid en brand i gamla bilbatterier i Landskrona 2001 användes stora mängder släckvatten. Berget av batterier var så stort att släckvattnet hade låg effekt. Däremot kunde i efterhand konstateras att vattnet tvättade ut batterisyran, då pH-värdet sjönk så lågt som till 1,9. Den slutliga släckningen gjordes genom att batterihögen täcktes med sand (Lundmark, 2001).

Vid en brand 1990 i ett torvlager i Uppsala förbrukades 70 000 m³ vatten under första veckan och därefter 2 000 m³ per dygn i en insats som pågick i över tre månader. Då torven i sig inte är särskilt giftig leddes släckvattnet första veckan ut i Fyrisån. Dock förde vattnet med sig stora mängder organiskt material, varför dagvattnet kopplades in på avloppsnätet och kunde tas om hand i reningsverket. Bara första veckans vattenvolym gav ungefär 300 ton COD, kemiskt syreförbrukande material, att jämföra med åns normala årstransport om 8 000 ton COD (Stridsman m.fl. 1999).

Är det känt vad som brinner går det att förutsäga vilka ämnen som kommer att bildas och därmed vad som bör mätas, till exempel pH-värdet, och hur det kontaminerade släckvattnet kan tas om hand. Sådana val bör göras i förväg och lämpliga åtgärder planeras, särskilt med tanke på räddningstjänstens ansvar som verksamhetsutövare enligt miljöbalken [MÖD 2019].

Generella parametrar som kan vara intressanta är förekomst av fast eller flytande material som inte löst sig i vattnet, färgförändringar, pH-värde, konduktivitet och syrgaskoncentration, vilka alla kan mätas på plats. Parametrar som kräver ett par dagars analystid är exempelvis halterna av partiklar, kväve, fosfor och organiskt bundet kol, samt den kemiska och biologiska syreförbrukande förmågan.

Då vatten är oförstörbart, liksom all annan materia, kan volymen kontaminerat släckvatten uppskattas genom att uppskatta den mängd släckvatten som tillförs branden. Normalt förångas endast en liten del, resten blir spill som måste ta vägen någonstans. Vatten som lämnar brandplatsen kan rinna ut i avloppet och vidare till reningsverket eller via dagvattenledningen till, vilket är viktigt att ta reda på i förväg, reningsverket eller något vattendrag. Om vattnet rinner längs marken kan vattendrag nås även denna väg. Vatten kan dessutom infiltreras i marken, antingen utanför byggnaden eller genom otätheter i källaren.

Är det små volymer stannar det lokalt, större mängder går ner till grundvattnet och sprids vidare.

Rening och destruktion av kontaminerat släckvatten är ett helt eget område som är för omfattande för att behandlas fullt ut här. Det handlar om planering, om val av släckmetod, om bedömning, uppsamling och förvaring samt om destruktion. Här ges en introduktion men det finns ytterligare material. (Norberg, Lithner, 2013)

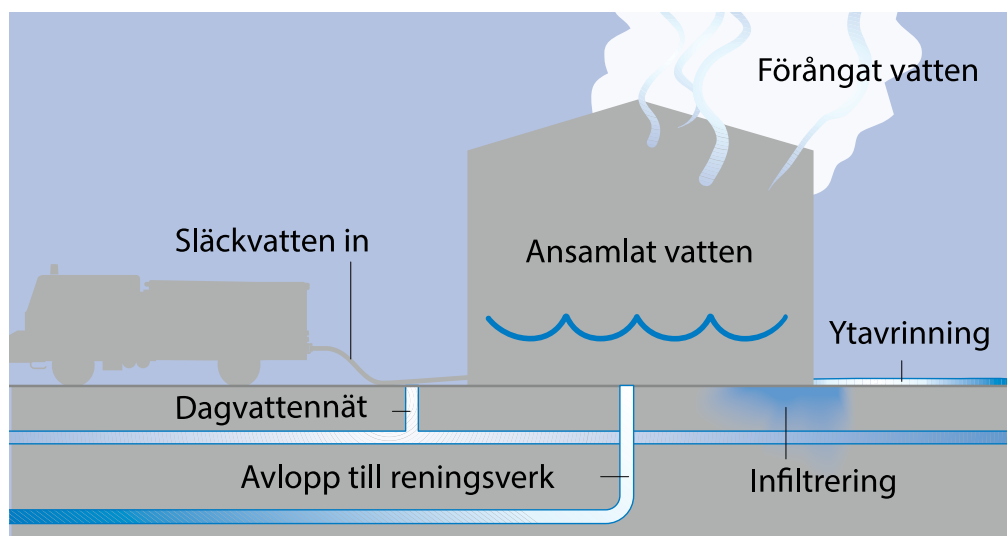
På grund av att vattnet måste ta vägen någonstans bör den totala mängden släckvatten i första hand hållas nere och användas effektivt. Överskottsvatten på en brandplats är ett tecken på ineffektivitet i släckinsatsen. Effekten av släckmedlet avgör resultatet av insatsen, inte det producerade vattenflödet. Räcker inte detta som argument kan tilläggas att kostnaden för omhändertagande av kontaminerat släckvatten faller på den som använt det.

I andra hand kan kontaminerat släckvatten samlas upp, enklast om det finns i förväg anordnade uppsamlingsplatser. En kemisk industri kan exempelvis utformas så att byggnaden själv fungerar som en bassäng. Det går även att anordna tillfälliga invallningar utifrån förutsättningarna på plats med hjälp av lock, gummimattor, barriärer, presenningar, sand, fyllda brandslangar eller på andra mer eller mindre kreativa sätt. Från invallningarna pumpas vattnet över till mobila bassänger, lagringstankar eller containrar, som normalt är tätare än tillfälliga invallningar.

En materialdepå för omhändertagande av släckvatten kan med fördel samordnas med länsor, absorptionsmedel och annan uppsamlingsmateriel för utsläpp av farliga ämnen och kan innehålla exempelvis

- gummimattor, brunnstätningar och annan tätningstrustning
- barriärer, presenningar och annan utrustning för att samla och styra vattenflöden
- dränkbara pumpar med standardkoppling och våtdammsugare för att samla upp vatten
- mobila, självresande bassänger om exempelvis 10 m³ eller 3 m³ för att tillfälligt lagra vatten
- belysning med strömförsörjning.

Dessutom behövs uppgifter om kontaktvägar till miljö- och hälsoförvaltningen och länsstyrelsen samt information om hur man kan få tag på sand, lagringstankar med mera.



2.135 Släckvattenflöde på en brandplats.

Om det uppsamlade vattnet är någorlunda rent, framförallt med hänsyn till mängden skräp och partiklar, kan det vara värt att överväga återanvändning av vattnet. Då minskar den totala volymen kontaminerat släckvatten och med den minskar problemen med omhändertagande. Det är alltid bäst att försöka hålla föroreningarna så samlade och koncentrerade som möjligt på en brandplats.

Uppsamlat släckvatten betraktas som miljöfarligt avfall och behandlas beroende på hur det är förorenat. Vissa giftiga föroreningar kan exempelvis tas upp av aktivt kol. Visar det sig

2.136 Vid denna kemiska industri är byggnaden utformad som en stor bas-säng. Golvet ligger en halv meter under marknivån och det finns i förväg iordningställda pumpgropar på utsidan.



efter mätning att föroreningsgraden är låg kan det ofta tas om hand av reningsverket, men eftersom det är miljöfarligt avfall krävs tillstånd och därför krävs samråd med eller tillstånd från miljökontoret och/eller länsstyrelsen. Här behövs i förväg etablerade kontaktvägar.

Går det inte att samla in vattnet går det ofta att fördröja dess spridning eller styra dess väg. Ett flöde som är för stort för att ta hand om, är kanske möjligt att hantera om det fördröjs. Genom att tätta en dagvattenbrunn kan vattnet styras en annan väg. Det finns alltså goda möjligheter för räddningstjänsten att välja var vattnet ska ta vägen för att minimera skadan, vilket också kräver ett aktivt beslut och möjligen tillstånd.

Om, som en sista utväg, en stor mängd kontaminerat släckvatten släpps iväg till ett reningsverk finns risk att flödet blir alltför stort för att verket ska kunna ta hand om det. Exempelvis kan det aktiva slammet i biosteget slås ut. Då måste en del av flödet styras ut orenat till det vattendrag som normalt tar emot det renade vattnet, med den påverkan som detta medför. Om större mängder vatten släpps till avloppet behöver därför reningsverket kontaktas.

Vid en industribrand i en anläggning för ytbehandling av plast och metaller i Anderstorp 1987 innehöll den brinnande byggnaden en hel del plast och starkt sura och metallhaltiga behandlingsbad. Släckinsatsen tog fem timmar och stora mängder vatten och skumvätska gick åt. Via golvbrunnar rann kontaminerat släckvatten till ett internt reningsverk som bräddades och 30 m³ rann ut i en bäck innan flödet stoppades. Då hade pH-värdet redan sjunkit till 3,2 varför bäcken kalkades. Det övriga vattnet, som lämnade byggnaden via dörrar och ett hål i betongplattan, förorenade marken. Störst koncentrationer uppmättes i rörgravar, där alltså genomsläppligheten i marken varit större (Stridsman m.fl. 1999).

Vid en brand i en däckverkstad i Borås 2015 användes cirka 40 m³ vatten. Med hjälp av brunnstätningsskott, invallning och uppsamlingsbassäng kunde cirka 9 m³ av det kontaminerade släckvattnet samlas upp från de asfalterade ytorna runt brandplatsen. Avrinning till näraliggande vattendrag hindrades på så sätt. Några dagar senare vid en brand i en möbelindustri i Tranemo användes cirka 80 m³ vatten.

Cirka 19 m³ av dessa samlades upp med hjälp av att dagvattenbrunnar tätades och att spillvattnet leddes till tre olika uppsamlingsplatser med presenningar och invallningar med pumpgropar. I båda fallen körde slamsugningsbilar iväg det kontaminerade släckvattnet för vidare behandling (SÄRF 2016).

2.137 Genom tätning av dagvattenbrunnar och genom att utnyttja terrängen, kan det använda släckvattnet samlas ihop, precis som kemikalier vid kemolyckor. En kulvert som pluggats igen skapar en tillfällig bassäng där vattnet kan hejdas.



Egendomsskador av vatten

Vid en mindre lägenhetsbrand är brandplatsen i stort sett torr när en skicklig brandman avslutat sin släckinsats. Eventuellt överskottsvatten går snabbt att torka upp och orsakar inga nämnvärda skador, i förhållande till brandskadorna.

En snabb restvärdesinsats är ofta värdefull, då skador kan uppstå även när vattenmängden begränsats. Vattnet medverkar exempelvis till rostangrepp på metaller. Materialet som brunnit har stor inverkan för hur stora skadorna blir.

Vattenskador är ett reellt problem framförallt vid större bränder och vid bränder där inte invändig släckning är möjlig att genomföra. Om för mycket vatten används finns risk att kostnaderna för vattenskador vida överstiger brandskadornas kostnader. Framförallt handlar det om vatten som tränger in i byggnadens konstruktion. Vatten i väggar, bjälklag, grund m.m. medverkar bland annat till angrepp av mögel och svamp på organiska material. Problemet är särskilt uttalat vid vindsbränder, där överskottsvatten rinner ner genom våningsplan som är opåverkade av själva branden.

Trä som utsätts för vatten kommer att svälla cirka 0,1–0,4 % i längdsledd och mellan 2 och 14 % tvärs fiberriktningen (*Restvärdesräddning*, 1988). Trä som utsätts för vatten sväller alltså märkbart. Vattenbegjutning vid bränder i silon och magasin där materialet som brinner sväller vid vattenbegjutning, kan till och med resultera i att byggnaden rämnar.

Några exempel på vattnets direkta skadeverkningar (Restvärdesräddning, 1988):

- *Lim i golvmattor kan släppa*
- *Gipsskivor löses upp och förstörs*
- *Limmade möbler kan förstöras genom att limmet löses upp*
- *Tapetklister kan släppa*
- *Vattenlösliga färger i konst, tapeter och textilier kan skadas*
- *Vattenlösligt bläck skadas i handlingar*
- *Förgyllningar kan rinna av därför att grundningen släpper*

Vintertid är det inte endast räddningstjänstens utrustning som kan frysa sönder. Använt släckvatten kan vålla problem om det blir stående i en ouppvärmad byggnad. På samma sätt som

vattnet kan spränga sönder en pump, kan kvarstående vatten i en byggnad ge skador när vattnet expanderar vid isbildning. Skador kan till exempel uppstå i murverk som sugit upp vatten.

Bränder i kulturmiljöer och upplag är exempel på situationer som kan ge långvariga släckinsatser. Med långvarig vattenbegjutning blir vattenmängderna stora, och så även vattenskadorna. Det är viktigt att planera insatsen med räddningstjänstens uppdrag i åtanke, så att skadorna totalt sett blir så små som möjligt.

En vattenkanon som ger 1 500 l/min riktad in i en byggnad, kommer på en timme att ha sprutat in 90 m³ vatten. Står den på över natten blir förbrukningen motsvarande 100 tankbilar. Allt detta vatten kommer att ta vägen någonstans.

Använd obemannade strålrör endast när det är absolut nödvändigt. På så sätt minskas vattenförbrukningen.

Användning av obemannade strålrör är den förmodligen vanligaste orsaken till stora vattenvolymer. Även små flöden orsakar med tiden stora totalvolymer. En dimspik med det blygsamma flödet 70 l/min kommer upp i över 4 m³ på en timme. Det finns alltså skäl att vara mycket restriktiv med obemannade strålrör. Dimspik är synnerligen effektiva, men bör liksom alla andra strålrör användas endast så länge som de har någon effekt. Därefter bör de omedelbart stängas av. Obemannade strålrör är lämpliga i stort sett endast då det finns obegränsad vattentillgång och då det användas släckvattnet enkelt kan tas omhand.

Tillsatsmedel

Att blanda tillsatser i släckvattnet är ingen nyhet. Styckgjutare Gerhard Meijer, sedan 1730 ansvarig för brandredskapen i Stockholm, föreslår 1754 i en skrift till Vetenskapsakademien att man till släckning skulle använda mättade saltlösningar, alun, vitriol, lut tillsammans med krita, kalk och aska (Lundin & Strindberg, 1882). Apotekaren Frans Joachim von Aken förfinar receptet 1792 (Moberg, 1966): 240 liter vatten, 13 kg alun ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$), 17 kg järn(II)sulfat (FeSO_4), 85 kg slammad, lindrigt torkad och siktad lera samt 8,5 kg järnoxid. Släckmedlet glöms dock bort när brandpumparna så småningom utvecklas och kan ge till synes obegränsade mängder släckvatten.

Under början av 2000-talet började tillsatsmedel dyka upp igen, i många fall för användning av förstainsattpersoner. Tillsatsmedel kan användas mot olika typer av bränder och i olika sammanhang och det har lett till att det finns en mängd olika tillsatser. Tyvärr är ingen av dem bäst inom alla områden men genomgående är att tillsatsmedel generellt ökar vattnets släckande förmåga. Samtidigt varierar miljöpåverkan kraftigt.

Skum för brandsläckning fick sitt genombrott under 1930-talet och har sedan dess genomgått både en kraftig teknisk utveckling och miljöskandaler. När stora bränslepölar, cisterner eller invallningsytor brinner är skum det mest lämpliga släckmedlet. Skumfyllning kan eventuellt ha sitt berättigande vid bränder i byggnader när en rökdykarinsats inte bedöms lämplig, exempelvis på grund av att brandmännen inte kan komma tillräckligt nära branden, att värmestrålningen är för hög eller att vattenstrålar inte når fram samtidigt som byggnaden inte kan tillåtas brinna.

De flesta tillsatsämnen används i så låga koncentrationer att man kan använda de traditionella systemen för vattensläckning. Skum kräver högre inblandnings och skiljer sig från de övriga. När ett system för skumsläckning ska dimensioneras är det viktigt att delarna i systemet anpassas efter varandra. Först väljs önskat flöde ur strålrören, sedan väljs slang för att ge lagom förluster, därefter väljs utrustning för skumvätskeinblandning som ska ha rätt kapacitet och slutligen kontrolleras att pumpen klarar att driva systemet och att vattnet och skumvätskeförråden är tillräckliga. Skumvätskan väljs dels beroende på bränsle, dels för att ge minsta möjliga miljöpåverkan. Till denna väljs den bästa doseringsutrustningen och skumgeneratoren, tillsammans med den bästa appliceringsmetoden och den bäst utbildade personalen. Slutligen planeras för att kunna samla in och ta hand om det kontaminerade släckvattnet redan under pågående insats.

Fysikaliska egenskaper

Salt- och minerallösningar

Med tillsats av olika främst salt- och minerallösningar ökar vattnets förmåga att ta upp värme. Denna effekt gör dem användbara för både brandimpregnering och brandsläckning beroende på om man tillsätter ämnena till det som brinner eller till släckmedlet.

Historien om tillsatsmedel för att brandskydda trä eller för att förbättra släckverkan hos vatten är lång. Apotekaren von Aken drar 1792, efter ordentliga studier i ämnet, slutsatsen att den bästa tillsatsen till vatten för brandsläckning bygger på en blandning av de tre ingredienserna salt (alun, vitriol, koksalt eller lutsalt), jordarter (lera, kalk, krita eller rödfärgspulver) och vatten. Medlet blev så bra att det på uppmaning av H. M. Konungen spreds och under lång tid fanns lagrat i många kommuner (Moberg, 1966).

Gemensam nämnare för många senare recept är det som redan von Aken rekommenderar: en blandning av något salt och någon jordart i vatten som släckmedel. Saltet får gärna ha kemiskt bundet vatten. I många fall är det motsvarande ämnen som finns i brandsläckningspulver, men i vattenlösning.

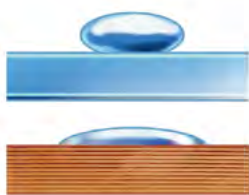
Ett modernt exempel är X-fog som bygger på en vattenlösning av oorganiska salter som innehåller främst ammoniumklorid men även fosfat, sulfat och doseras 1–3 % (X-fog, 2019).

Tillsätts även ett bindemedel, exempelvis råg- eller vetemjöl kokt till klister och en skvätt olja av något slag för att medlet ska fästa och sitta kvar, får du recept på ett brandskyddsmedel. Du får också receptet på rödfärg.

Mer specifika recept av natriumborat, kaliumaluminiumsulfat och natriumsilikat är kända åtminstone sedan 1860-talet. Ammoniumfosfat nämns 1821. Från slutet av 1800-talet finns flera patenterade recept på brandskyddspreparat, exempelvis harts i lösning med kalium- eller natriumkarbonat tillsammans med linolja kokad med blyoxid eller manganoxid samt antingen kaliumsilikat eller lösning av svavelsyrad lerjord eller järnoxid och eventuellt mjöl. Ett annat recept föreslår en blandning av natriumsilikat, råg- eller vetemjöl, alun och lite kaliumkromat. Ytterligare ett förslag är en impregnering med magnesiumklorid, stärkelse och gelatin. Under de följande årtiondena kommer flera patent, där många bygger på en blandning av natriumsilikat och ytterligare metallsalt (Schlyter, 1939).

Det finns några olika orsaker till varför denna typ av ämnen är verksamma. Den kemiska beteckningen för kaliumaluminiumsulfat eller alun är $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ och för natriumsilikat eller vattenglas är den $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$. Den främsta orsaken till en god släckeffekt är i båda fallen att det rör sig om stora metallsaltföreningar. Stora molekyler har generellt en god värmeupptagningsförmåga och därmed en god släckeffekt. Båda dessa innehåller dessutom kemiskt bundet vatten. Det går åt energi – värme – för att bryta bort och förånga detta vatten.

Vermikulit är ett poröst vulkaniskt lermineral som tillhör gruppen silikater. För brandsläckning används finmalen vermikulit i vattenlösning. Det kan betecknas AVD, Aqueous Vermiculite Dispersion. Ämnet är inert och obrännbart. Det har därför föreslagits för släckning av exempelvis batterier. Det släcker inte den termiska rusningen i cellerna, men kan med rätt applicering tränga in mellan cellerna och förhindra uppvärmning av intilliggande celler.



3.1 En vattendroppe på en fet glasyta hålls ihop av ytspänningen (övre bilden). På en träyta flyter droppen ut. Med lite diskmedel i vattendroppen flyter den ut även på glasytan.

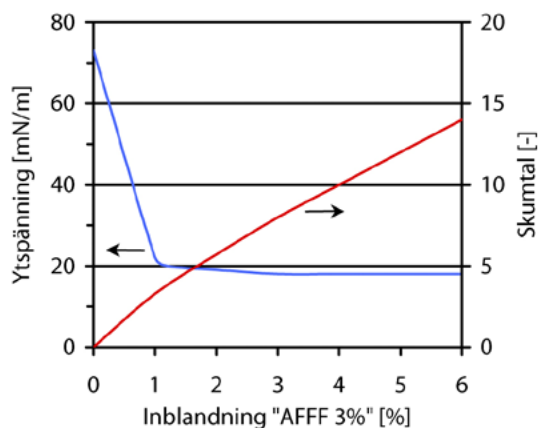
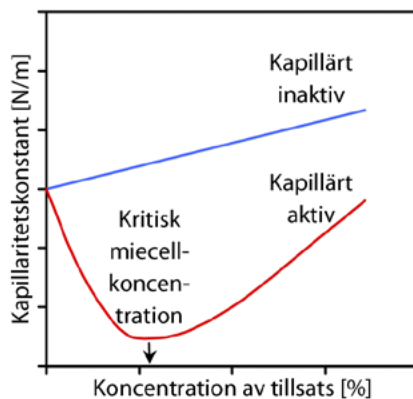
Skumvätskor

Med en liten tillsats av vätningsmedel eller tensider i vattnet är huvudeffekterna att bränsleytorna kyls och att värmeåterkopplingen bryts mellan flammor och bränsleytor. Ytspänningen hos vattnet sänks vilket gör att det väter bättre och tränger in i porösa material. Även en mycket liten tillsats av vätningsmedel ger en stor sänkning av vattnets ytspänning. Så lite som 0,1 % inblandning ger en radikal minskning av vattnets ytspänning och därmed stor förbättring av vattnets inträngning i fibrösa material. Även vätningen av hårda ytor ökar. Med tillsats av vätningsmedel kan avkokningen av vatten tredubblas på en metallyta, vilket innebär att tre gånger så mycket vatten kyls bort (Qiao, Chandra, 1996).

Skum för brandsläckning består av ett stort antal gasfyllda blåsor som är åtskilda av en vätskehinna. Det har tre beståndsdelar: vatten, skumbildare och gas. Skumbildarens främsta egenskap är att sänka vattnets ytspänning. Gasen är nästan uteslutande luft, men kan även bestå av exempelvis koldioxid, eller i vissa fall brandgaser.

Skumbildningen förklaras på molekylnivå av att vätningsmedlet fördelas olika i skumbubblornas väggar. Vätningsmedlet består av molekyler där den ena änden är polariserbar och därmed vattenlöslig. Resten är en opolär och därmed inte en vattenlöslig molekyלקedja. Vid vissa koncentrationer i vatten bildar dessa molekyler orienterade grupper av polära molekyler, kallade miceller, som samlas vid ytan. De elektromagnetiska krafterna mellan molekylerna gör att molekyלקedjorna lägger sig i stort sett parallellt med varandra. På så sätt bildas skikt eller sammangyttringar av molekyler som hålls samman elektromagnetiskt. Dessa skikt är inte mer än en molekyl tjocka, i storleksordningen några nanometer (10^{-9} m). Molekylernas polariserbara ändar kommer utåt, mot vattenmolekylerna som bygger upp resten av bubblornas väggar. Den koncentration där sammangyttringen blir påtaglig kallas den kritiska micellkoncentrationen. Vid denna koncentration har även ytspänningen ett minimum.

Sträcks ett vätskeskikt vid den kritiska micellkoncentrationen kommer antalet ytaktiva molekyler vid ytan att minska. Då ökar kapillaritetskonstanten och därmed ytspänningen,



vilket motverkar sträckningen. Även kompression motverkas på motsvarande sätt. Det mest stabila skummet bildas därmed vid en dosering som ger den kritiska micellkoncentrationen. Det är därför viktigt att följa fabrikantens rekommendationer för skumvätskeblandning. Både lägre och högre inblandning ger ett sämre skum.

Man skiljer mellan skum för klass A- och för klass B-bränder, även om båda sorterna vid användning blir vita och löddriga. Den första typen används för släckning av fibrösa material som trä och den andra typen används för bekämpning av vätskebränder, men det finns skum avsedda för båda ändamålen.

Skumvätskor har många ingredienser och olika skumvätskor får därmed olika egenskaper. Huvudingrediens är skumbildaren, som kan vara tensidbaserad eller proteinbaserad. Tensidbaserad skumvätska är vanligast. Den är baserad på syntetiska vätmedel som fettsyror och petroleum-produkter, exempelvis natrium- eller ammoniumsulfat eller trietanola-min-lauryl-eter-sulfat, och har kemiska likheter med vanligt diskmedel. Produkten tillverkas kemiskt och går därför även under benämningen syntetisk skumvätska. Utan ytterligare tillsatser kallas den ofta detergent-skumvätska och ger blandningar med en ytspänning under 30 mN/m. Tensidbaserad skumvätska skummar normalt upp lättast och ger ett högre expansionstal än proteinbaserad skumvätska med samma förutsättningar. Skummet blir smidigt och lättflytande. Detergentvätskor kan expanderas till tung-, mellan- och lättskum.

3.2 (vänster) Ytspänningen varierar med skumvätskeblandningen. Det gör också skumtalet, här för skum genererat i ett tungskumrör (efter Vestergom, 2001).

3.3 (höger) Kapillaritetskonstanten varierar med inblandningen eftersom skumvätska är kapillärt aktiv. (efter Alvares & Lipska, 1972)



3.4 P-märkning av skumvätska innebär att den kontrollerats vid SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och uppfyller vissa testkriterier.

Skumvätskan har likheter med vanligt diskmedel, men diskmedel används i låg dos och tas om hand i reningsverk som är speciellt utformade för att ta emot dessa kemikalier.

Proteinskumvätska framställs av hydrolyserade animaliska eller vegetabiliska proteinråvaror. Proteinråvaran är oftast industriella biprodukter som sojabönor eller horn och hovar från nötkreatur. Proteinskum bildar ett styvt skum med god vidhäftningsförmåga. När skummet utsätts för värme förångas vattnet eller dräneras ut. Proteinet koagulerar till en rödbrun rest som ger en mycket värmebeständig barriär. Får proteinskum stå kvar i metallkonstruktioner kan galvanisk korrosion uppstå. Det är därför nödvändigt med en snabb renspolning och upptorkning efter användning av proteinskum. Proteinbaserade skumvätskor kan expanderas till tung- och mellanskum. Ytspänningen är under 45 mN/m för skumvätskeblandningen.

Skumvätskor för klass A-bränder är av dessa två typer. Utan ytterligare tillsatser fungerar de också mot klass B-bränder i bränslen som inte är blandbara med vatten, exempelvis olja. Däremot kommer de att lösa sig i bränslet om de används mot en polär vätska som alkohol. Skumvätskor för användning mot B-bränder ska uppfylla kraven i EN 1568. P-märkning av en skumvätska innebär att produkten uppfyller dessa krav efter tester vid RISE, samt att tillverkningen genomgår fortlöpande internkontroll. Andra märkningar förekommer, men det väsentliga är att testerna utförts vid ett ackrediterat testinstitut.

Utöver skumbildare tillsätts även en rad andra komponenter: Stabilisatorer gör skumvätskan vattenhållande, förstärker skumblåsornas väggar och ökar skummets värmebeständighet. Lösningsmedel tillsätts för att få önskad viskositet så att blandningen blir flytande och pumpbar. Tillsammans med lösningsmedlen och ytterligare fryspunktsnedsättande medel kan vissa skumsorter användas ner till temperaturer kring $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Konserveringsmedel ger skummet ökad hållbarhet. pH-justerande medel tillsätts för att få pH 7. Resistens mot hårt och salthaltigt vatten fås med särskilda tillsatser. Konsistensgivare tillsätts ofta för att göra skummet segare. Färg används för att skilja mellan olika skumsorter. Korrosionsinhibitorer kan tillsättas för att motverka angrepp på utrustningen. Vatten finns i de flesta skumsorter i varierande mängd och är orsaken till

varför vissa skumvätskor skummar redan i tanken (Eriksson, 1984; Holm & Solyom, 1995).

De flesta skumvätskor är känsliga för föroreningar av exempelvis brandgaser i expansionsluften. Det finns särskilda skumsorter, exempelvis Hotfoam, som inte är känsliga för inblandning av brandgaser och som därmed kan användas i ett fast släcksystem där luften i brandrummet utnyttjas för produktion av lättskum. Detta ger fördelen att inga ventilationsöppningar behövs.

Filmbildande skumvätskor

Vid klass B-bränder är förmågan att bilda skum av god kvalitet väsentlig. Skummet får dessutom inte brytas ned av bränslet. Även vid B-bränder kan ytspänningssänkningen utnyttjas. Med hjälp av filmbildande ämnen kan vattnet som dräneras ut ur skummet fås att flyta ut som en tunn film över bränslepölen. Om ytspänningen i vätskan som dränerar ut ur skummet sänkts från vattnets normala 73 mN/m till under bränslets ytspänning, 20–30 mN/m för de flesta kolväten, bildas inga droppar som faller igenom bränslet. I stället bildas en film som flyter ut på bränsleytan och som släcker innan skummet har hunnit dit. Fenomenet är detsamma som när en droppe bensin breder ut sig över en vattenyta. Orsaken är att en droppe med lägre ytspänning flyter ut på en yta med högre ytspänning. Filmen är endast cirka 0,001 mm tjock, men den ökar skummets förmåga att snabbt flyta ut över en brinnande bränsleyta. Filmen har dessutom en självläkande verkan och kan till en viss grad flyta ihop om ytan störs. Att det utdränerade vattnet flyter på bränslet gav produktnamnet lättvatten (light water). Densiteten är dock fortfarande högre hos vattnet än hos bränslet. En annan benämning är Aqueous Film Forming Foam, förkortat AFFF, och motsvarande FFFP om de är proteinbaserade (Persson 1987 b).

Samtidigt var det de filmbildande ämnena som skapade det största miljöproblemet med skum. Miljöproblemet är inte filmbildningen i sig utan de kemikalier som användes, nämligen PBT-ämnen: persistenta, bioackumulerande och toxiska. Till en början handlade det om PFOS (perfluoroktansulfonsyra) och senare även andra ämnen ur den stora gruppen av PFAS (perfluoralkylsulfonat), som är högfluorerade organiska ämnen.

Det gemensamma med föreningarna är att de består av kolväten där många av väteatomerna ersatts med fluor. Några av de miljömässigt värsta togs bort från marknaden på 1990-talet, fler fasades ut under början av 2000-talet och ytterligare fler är föreslagna att fasas ut. Det rör sig om flera tusen olika ämnen, ämnen som inte bryts ner i miljön utan bioackumuleras.

Sedan helt fluorfria alternativ tillkommit finns ingen anledning att använda fluorinnehållande skumvätskor. Eller återkommit kanske man ska säga, för de ursprungliga skumvätskorna innehöll inga fluorföreningar.

Alkoholresistenta skumvätskor

Ett problem vid polära bränslen, till exempel alkoholer, är att det vattenlösliga skummet löser sig i bränslet och bryts ner i samma takt som det läggs på. Här krävs en tillsats som gör skummet alkoholresistent. Tillsatserna kan göra att expansions- och vidhäftningsförmågan blir sämre.

Alkoholresistenta skumvätskor, AR-skumvätskor, innehåller en polysackarid som reagerar kemiskt med alkoholen i bränslet och bildar en gel i gränsskiktet mellan skummet och bränslet. Gelen bildar en tät barriär mot bränslet som skyddar skummet mot ytterligare nedbrytning. Att gelbildningen är en kemisk process innebär att det går åt mer skum för nybildning om gelen förstörts genom att man exempelvis gått genom skummet.

Alkoholresistenta skumvätskor ger utmärkt tung- och mellan-skum. De kan användas mot de flesta bränslen, men gelen bildas endast tillsammans med polära bränslen. Det betyder också att 3 % inblandning räcker mot B-bränder i allmänhet, men att inblandningen ofta behöver ökas till 6 % vid polära bränslen.

Bensin kan innehålla så mycket polära ämnen, till exempel etanol, att det krävs ett alkoholresistent skum. Icke alkoholresistenta skumvätskor kan ofta användas på bränslen med upp till ungefär 5 % andel polära vätskor eller med ökad påföringshastighet upp till 10 % andel. Detta klarar en alkoholresistent skumvätska redan vid 3 % dosering. Med 6 % inblandning klarar de upp till 100 % polära vätskor.

Släckmedel för fettbränder

Vid vätskebränder får bränslet efter ett tag samma temperatur som sin kokpunkt. Flertalet brännbara vätskor har ganska låga kokpunkter, exempelvis etanol med 78 °C. Oljor och fetter har mycket högre kokpunkt, vilket gör att bränsletemperaturen kan vara 400 °C när fett brinner. Denna temperatur ligger dessutom över självantändningstemperaturen. Bränder i överhettat fett i fritöser återantänder därför ofta om de släcks med exempelvis CO₂.

Här kan ett tvålbildande släckmedel användas. Funktionen påminner om den alkoholresistenta skumvätskans gelbildning i en kemisk reaktion med bränslet. I ett Ansulex-system reagerar olika kaliumsalter med de uppvärmda fettsyrorna från bränslet och bildar en tvållösning. Denna tvållösning lägger sig som ett täcke över bränsleytan och släcker trots en hög bränsletemperatur. Systemet finns både som handbrandsläckare och som fast släcksystem för punktskydd. I båda fallen är lösningen färdigblandad i behållaren (Brandklass F, 2019).

Gelsläckmedel

Många tillsatsmedel gör att vattnet sugs upp bättre i olika material. Andra tillsatser har motsatt effekt. Genom tillsatser som gör vattnet geléaktigt och klistrigt lägger det sig som en barriär och förhindrar värmeutbyte. Här finns en viktig skillnad mot kontinuerlig vattenbegjutning. Om man lägger en gelbarriär sköljs den bort till ingen nytta om den begjuts med vatten.

Med någon procents tillsats av vattenhållande ämnen kan viskositeten för vatten ändras radikalt. Effekten är alltså den rakt motsatta mot tillsats av vätmedel. Vattnet blir klistrigt och klibbigt och slutar att rinna, med en konsistens ungefär som tapetklister. Den höga viskositeten gör att vatten med denna tillsats inte rinner ner i marken utan stannar vid ytan. Och vattnet kan torka bort.

Genom att spruta på en blandning med gelsläckmedel bildas en vattenhållande barriär som förhindrar att bränsleytor utsätts för värmepåverkan. Så länge det finns vatten kvar i gelen kommer den aldrig att bli varmare än 100 °C och för att en träyta ska börja brinna krävs en mycket högre temperatur än så. Tillsatsmedlen är för all del brännbara, men det stora vatteninnehållet gör dem trots det lämpliga som släckmedel.

De ämnen som används till gelsläckmedel kan vara cellulosa- eller stärkelsebaserade - biobaserade ämnen som lätt bryts ner i naturen och som inte påvisats innebära något miljöproblem.

Ämnena skulle också kunna också vara polymerbaserade och använda motsvarande kemi som superabsorbenter i blöjor: Salter från svagt tvärbundna polyakrylsyror har svaga laddningar som i en tredimensionell struktur kan binda en stor mängd vattenmolekyler. Ämnet är alltså varken blandbart eller lösligt i vatten, utan binder det. Vid användning utomhus stannar ämnena vid markytan och bryts så småningom ner av UV-ljus, men det är oklart hur lång tid det tar. Samtidigt bidrar ämnena uppenbart till spridning av mikroplastar i miljön och det finns superabsorbenter som redan försvunnit från marknaden (Holm, 2014). Därför är gelsläckmedel baserade på denna teknik förmodligen olämpliga; de ovan nämnda biobaserade ämnena är bättre.

Lagring och transport

Tillsatsmedel finns av olika fabrikat och typer. Därför bör en sammanställning av data alltid förvaras såväl i fordon som i förråd. Där bör finnas uppgifter om hur ämnet fungerar tillsammans med andra släckmedel, exempelvis skumvätskor eller pulversorter, och hur det ska doseras.

De flesta tillsatsmedel förvaras i tankar, fat eller dunkar och blandning sker vid användningstillfället.

Vissa tillsatsmedel, salter exempelvis, har obegränsad lagringstid. Andra ämnen bryts ned över tid. Skumvätskor har i regel 10–25 års lagringstid oblandat och i obruten förpackning. Lagring svalt, men frostfritt, ger bäst hållbarhet. En höjning av lagringstemperaturen med 10 grader halverar lagringstiden.

Regelbunden provning av skumvätskelagret är ett sätt att säkerställa att skumvätskan bibehåller sin kvalitet. Provningsmetoden kan inkludera skumtal och dränering, pH-värde, viskositet, sediment, filmbildande förmåga och hållbarhet mot polära lösningsmedel, brytningsindex och densitet. Dessutom kan ett brandprov göras med någon småskalig metod.

Vissa tillsatser är lättflytande, exempelvis saltlösningar medan andra är trögflytande, exempelvis vissa skumvätskor.

Viskositeten för de flesta vätskor ökar med sänkt temperatur. Ju kallare den är, desto mer trögflytande är den. För att tillsatserna ska kunna användas bör de alltså inte förvaras kallare än att den har tillräcklig flytbarhet.

Tillsatsmedel förvaras bäst i originalförpackning. Vid valet och utformningen av lagringstankar är det bäst att följa tillverkarens rekommendationer. Det finns all anledning att i samband med inköp reda ut garantiförutsättningarna, exempelvis vad gäller komplettering vid förbrukning av en del av tankinnehållet.

Det är viktigt att de tankar som skumvätska förvaras i är tillräckligt stora och att de är absolut rena innan skumvätskan fylls på. Smuts i skumvätskan kan göra att den åldras fortare och/eller att den förlorar sin funktion.

Det är också viktigt att tillsatstanken är gjord i rätt material. Saltlösningar är exempelvis mer korrosiva än rent vatten. En alkoholbeständig skumvätska tål exempelvis inte att komma i kontakt med någon som helst koppardetalj, inte ens en koppling. Då tar skumvätskan upp kopparjoner och kan till och med angripa syrafast stål. En skumvätsketank för alkoholbeständig skumvätska måste därför vara gjord av rostfritt stål eller plast. Även färgskikt kan lösas upp och skumvätska kan tränga in i de finaste porerna i skyddslacker och göra att de lossar från underlaget.

Förvaras tillsatsmedel i vattenlösning i en ventilerad tank kommer vattnet successivt att avdunsta. För bästa hållbarhet bör behållaren vara helt fylld och oventilerad. Vid användning måste då finnas en ventil som släpper in luft i samma takt som skumvätskan används.

Olika typer av tillsatsmedel ska inte blandas innan användning, eftersom de då kan förstöra varandra. Exempelvis innehåller detergentskum ofta någon alkohol som lösningsmedel och den kommer att utlösa gelbildningen om den blandas med en alkoholresistent skumvätska. Det går dock att använda olika typer av skum vid samma insats, men då måste två uppsättningar av pump-, doserings- och appliceringsutrustning användas.

Släckbilar har ofta fasta tankar som rymmer några hundra liter tillsatsmedel. Tankbilar rymmer mer, upp till någon kubikmeter. Om volymen hos tanken för tillsatsmedel är 12 % av vattentankens volym finns, vid 6 % inblandning, tillsatser

till det medhavda vattnet och en extra fyllning. Om det å andra sidan räcker med 0,1 % inblandning av tillsatsämnet räcker det till 120 tankvolymmer.

Vissa tankbilar innehåller endast skumvätska och inget vatten och rymmer upp till cirka tio kubikmeter skumvätska. Då är ofta vätskan uppdelad i flera separata tankar.

Fat är inte särskilt vanliga för hantering av tillsatser på skadeplatser, men de fungerar utmärkt för påfyllning av mindre utrustning och behållare. Tillsatsmedel kan även hanteras i dunkar. Hantering i dunkar är personalkrävande och i praktiken användbart endast då åtgången av tillsatsmedel är liten. Vid byte av tillsatsdunk under pågående drift stängs kranen till dykröret, medan röret snabbt flyttas över till nästa dunk. Då undviks driftstörningar orsakade av att luft sugas med.

Med flödet 200 l/min för tillsatser med 0,1 % inblandning blir förbrukningen 0,2 l/min och en 25 liters dunk räcker i drygt två timmar. Fast då har man sprutat ut 25 m³ vatten som måste tas om hand.

Med flödet 200 l/min för tillsatser med 3 % inblandning blir förbrukningen 6 l/min. En 25 liters dunk tar då slut på drygt fyra minuter. Med större flöde eller större inblandning går det ännu snabbare. En kanon om 1 600 l/min med 6 % inblandning ger ett tillsatsflöde om 96 l/min, alltså fyra dunkar i minuten.

Inblandning av tillsatsmedel

För all dosering av tillsatsmedel bör tillverkarens rekommendationer följas. Därför bör ett inplastat produktblad alltid finnas tillgängligt där tillsatserna används. Doseringen varierar från 0,1 % till 6 %. Tillsatsmedel för klass A-bränder, har normalt en inblandning om 0,1–1,0 % beroende på tillsats. Skumvätskor för klass B-bränder blandas normalt i vatten till 3 %. För brand i polära bränslen kan gelbildande skumvätskor kräva det dubbla, 6 %. I samtliga fall räknas volymprocent.

Det finns också högkoncentrerade ämnen med lägre inblandning. Därför är släckvätskans literpris ointressant. Det är priset på färdig lösning som bör jämföras. Eller ännu hellre, kostnaden för den mängd som går åt totalt vid släckinsatsen.

Mest tillförlitliga är de system där doseringsutrustningen är integrerad i pumpen och slangsystemen är förberedda. Används extern inblandningsutrustning bör den vara kalibrerad i det slangsystem och med de munstycken som ska användas vid släckinsatser. Allra viktigast är detta för system med injektorer. Kalibreringen görs genom att systemet kopplas upp och därefter mäts förbrukningen eller flödet av vatten och tillsatsmedel. För vissa utrustningar finns testdata som kan användas som utgångspunkt (Persson & Andersson, 1995). För att säkerställa att systemet används på ett sätt som täcks av kalibreringen bör uppbyggnaden vara dokumenterad och inövad.

Av tillsatsmedlen är skumvätskor mest beroende av rätt inblandning. För stor inblandning resulterar i ett styvt skum som flyter ut dåligt. För liten inblandning ger ett blaskigt skum som bryts ner fort och som har dålig motståndskraft mot värme och bränslen av olika slag. Tyvärr är det inte möjligt att bedöma om skummet har rätt kvalitet genom att se hur mycket det löddrar. Detergentskumvätska ger ett skum som ser bra ut redan vid ungefär 0,3 % inblandning, men som inte har rätt stabilitet för släckning av klass B-bränder förrän vid 3 % inblandning. En misslyckad skuminsats beror oftast på att blandningsutrustningen används på fel sätt eller att den inte fungerar. Utrustningen är känslig för yttre störningar. Det räcker med att skumvätskeledningen klämts ihop för att flödet ska minska. Korrosion, igensatta ledningar eller skräp kan äventyra insatsen helt. Regelbunden översyn och noggrann rengöring av all skumutrustning efter användning är därför nödvändig.

Vatten har samma viskositet oavsett om det är i rörelse eller inte, en egenskap som kännetecknar varje så kallad newtonsk vätska. Vissa vätskor saknar denna egenskap. Tixotrop målarfärg är geléaktig i färgburken, men när den rörs runt blir den snabbt lättflytande. Viskositeten varierar alltså. Även vissa gelbildande skumvätskor är icke-newtonska. De är trögflytande i tanken, men när de väl har satts i rörelse blir de lättflytande. Detta beteende innebär att utrustningen måste utformas med särskild omsorg, så att doseringsutrustningen orkar sätta vätskan i rörelse och göra den lättflytande. Smala spalter som skumvätskan måste passera är exempel på detaljer som kan försvåra användningen av icke-newtonska vätskor.

Vid beräkning och testning kan resultatet bli fel om testvätskan har annan viskositet än den verkliga (Bobert m.fl., 1996).

Pumpning och inblandning av tillsatsmedel sker i allmänhet efter en av tre huvudtyper av utrustningar: förblandning i tank, pump eller injektor.

Förblandning

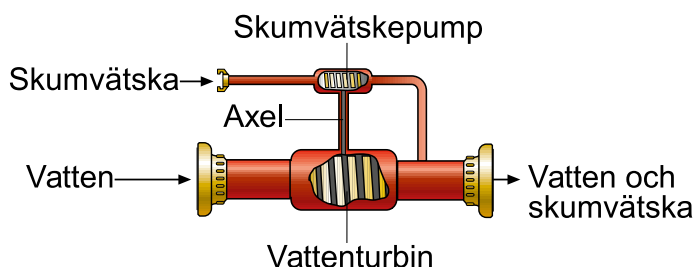
Tillsatsmedlet kan blandas med vattnet i förväg, som i handbrandsläckare. En brandbil med en 1 000 liters vattentank kan utrustas med en 30 liters skumväsketank för 3 % inblandning. Vid insats töms skumvätskan direkt i vattentanken och en pump ger nödvändig omblandning. Blandningen måste användas direkt eftersom den är biologiskt nedbrytbar. Får den stå kommer skumvätskan successivt att brytas ned av samma processer som bryter ner skumvätska i naturen. Efter insats rengörs vattentanken för att undvika korrosion.

I situationer där låg inblandning önskas kan samma princip användas genom manuell inblandning. Om en klass A-brand ska släckas med vatten med 0,1 % inblandning av tillsatsmedel räcker det att hälla 10 liter i en tank med 10 m³ vatten i samband med användning. Mängden är så liten att den går att hantera manuellt med dunkar, under förutsättning att omrörningen kan garanteras. Och en flaska miljömärkt diskmedel i vattentanken vid en skogsbrand kan ge märkbar effekt.

Doseringspumpar

En doseringspump följer vattenflödet och ger därför alltid samma inblandningsgrad. Den stora fördelen är att de inte är beroende av tryck och flöden i systemet. Det går alltså att använda olika flöden och olika slanglängd vid insatsen. En doseringspump med dosering efter valt släckmedel ger ett tillförlitligt system med god precision som är enkel att hantera för pumpskötaren. Normalt byggs de ihop med vattenpumpen i släck- eller tankbilar och finns för både låg- och högtryckssystem. De kan också placeras fritt i anslutning till lösa släckmedelstankar med extern försörjning av vatten från en tankbil.

Två olika principer för doseringspumpar kan urskiljas: elektronisk och hydraulisk. Elektroniska system styrs av en



processor med flödesmätare för vattnet och en elektrisk pump vars flöde regleras med variabel strömstyrka. Systemen är både robusta och enkla att hantera. Då pumpen styrs av en processor kan inblandningen programmeras till i stort sett valfri nivå. Styrsystemet är digitalt med antingen förinställda lägen eller steglös styrning.

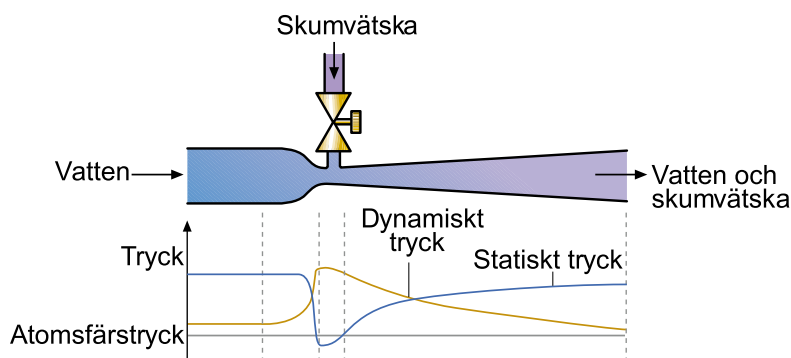
I hydrauliska system drivs doseringspumpen av vattenströmmen. Olika varianter finns, exempelvis skummixern där vattenmotor och skumpump monterats på samma axel och där förhållandet mellan displacementen är samma som den önskade inblandningen. Det ger ett tvingande flöde om exempelvis 3 % av vattenflödet. En annan variant är att låta en del av släckvattnet på sin väg driva en kolvpump och då kan valfri inställning av doseringen göras. De hydrauliska systemen är till sin konstruktion både enkla och robusta, men eftersom de använder släckvattenflödet som drivkälla kan trycksänkningen bli stor om det är mycket tillsatsmedel som ska blandas in.

För större fasta anläggningar är olika typer av tryckstyrda doseringssystem i kombination med pumpar vanligast. Dessa har god inblandningsnoggrannhet, men är genom sin mer komplexa uppbyggnad mer beroende av underhåll och tillsyn. Det finns exempelvis membranventiler som automatiskt, och med hjälp av tryckskillnader, doserar in en i förväg vald andel vätska i ett vattenflöde som inte måste vara konstant. En förutsättning är att både vattnet och tillsatsmedlet är trycksatt.

Injektorer

En injektor bygger på venturi-principen: Ett venturirör har ett tvärsnitt som liknar två motställda V. När rörets tvärsnitt minskar i det avsmalnande röret kommer vattnets hastighet att öka. Energiinnehållet är dock konstant, vilket innebär att trycket

3.5 Skumvätskepump av mixertyp.

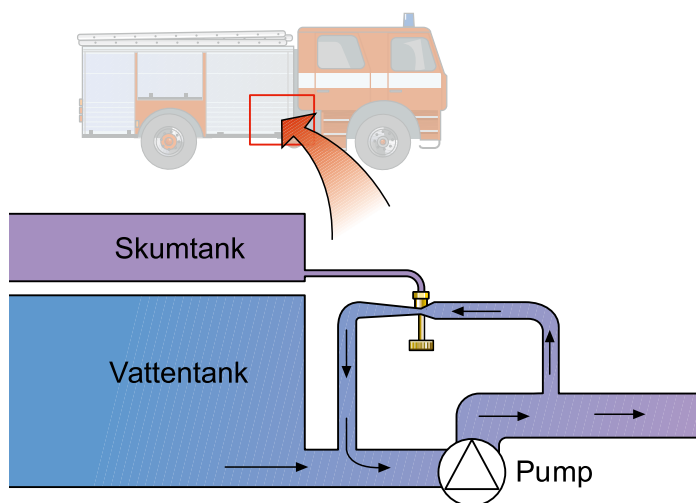


3.6 Funktionsskiss av en injektor.

kommer att minska i enlighet med Bernoullis ekvation. När vattnet passerar rörets midja har i stort sett all tryckenergi omvandlats till rörelseenergi. När röret åter vidgas tillåts strålen att expandera. Den kommer då, som alla andra strålar, att brytas upp. I en normal vattenstråle hade luft sugits med, men detta förhindras av rörets väggar. I stället bildas ett undertryck. Strax efter strypningen finns därför en kammare med anslutning till en slang till behållaren för tillsatsmedel. Undertrycket som bildas när vattenströmmen bryts upp är tillräcklig för att tillsatsmedel ska sugas upp.

För doseringsutrustningen kan ett diagram ritas upp över undertrycket i utrustningen som funktion av flödet, på samma sätt som en pumpkurva. På motsvarande sätt finns strömningsförluster i ledningen för tillsatsmedel som ger en systemkurva (Persson & Andersson, 1995).

Själva venturiröret är mekaniskt och ger vid samma tryck och flöde alltid samma inblandning av tillsatsmedel. För att kunna styra doseringen finns olika varianter. Genom en graderad kran kan vatten styras in i ledningen för tillsatsmedel. Då kommer inblandningen att vara konstant, men en del av den inblandade vätskan består av vatten. Den andra varianten är att styra en del av vattnet utanför venturiröret. Läget på kranen som styr hur stor del av vattnet som går förbi bestämmer hur mycket tillsatsmedel som därmed blandas i. Ytterligare ett sätt att reglera inblandningen är genom att öka tryckförlusterna



i skumledningen genom en strypventil. På motsvarande sätt kan inblandningen regleras, manuellt eller automatiskt, för att korrigera doseringen vid varierande tryck.

Venturiröret utnyttjar mer energi än vad som krävs för det egentliga arbetet. Verkningsgraden som pump är alltså låg. Fördelen är att konstruktionen är robust, saknar rörliga delar och inte kräver ytterligare kraftförsörjning. Nackdelen är framförallt att injektorer ger rätt inblandning endast när tryckförlusten över injektorn är rätt. Förhållandet mellan undertrycket i ledningen och flödet av tillsatsmedel ser ut ungefär som de flesta pumpkurvor.

Vid användning vintertid är det viktigt att utrustningen är torr före start. Annars finns risk för exempelvis isproppar i injektorer.

Injektorerna har namn efter sin placering, till exempel pumpinjektor, mellaninjektor eller strålrörsinjektor.

Pumpinjektor

En pumpinjektor är placerad i en fast ledning som grenas av från trycksidan och går runt brandvattenpumpen. Den är alltså fast monterad i exempelvis en brandbil. Tillsatsmedel sugas från en fast tank. Tryckskillnaden mellan pumpens tryck- och sugsidan avgör hur stor inblandningen blir. I och med att tryckförlusterna i slangsystemet inte påverkar systemets prestanda ger pumpinjektorn ett system som är oberoende av slanglängd

3.7 Funktionsprincipen hos en pumpinjektor.

eller höjdskillnad mellan pump och strålrör. Pumpinjektorn är dock känslig för ett högt ingående tryck. Om vattnet tas från en brandpost eller via sluten seriekörning blir tryckskillnaden mellan pumpens sug- och trycksida för liten för att injektorn ska blanda rätt. En tryckreduceringsventil på inloppet eliminerar problemet.

En pumpinjektor känner inte av trycket i systemet. Pumpskötaren måste därför styra pumpen så att munstyckstrycket och därmed flödet blir rätt. Dessutom måste skumdoseringen ställas in efter flödet, det vill säga efter vilka strålrör som används. Inblandningen för en pumpinjektor varierar med vattenuttaget: en dubbling av flödet ger ett halverat procenttal. Den varierar med mottrycket, där större mottryck ger mindre flöde och ökat procenttal. Slutligen varierar den med ingående vattentryck, där högre tryck ger lägre procenttal. Injektorn har en märkning som anger kapacitet, till exempel PI 50 för en pumpinjektor med tillsatsflödet 50 l/min vid reglerat in- och utgående tryck. Detta räcker till 1 700 l/min vid 3 % inblandning eller 800 l/min vid 6 % inblandning.

Om strålföraren stänger sitt strålrör upphör flödet i slangen. Däremot kommer vattnet att fortsätta cirkulera igenom pumpinjektorn i slangen runt pumpen och inblandningen fortsätter. Tillsatstanken töms successivt och tillsatsmedlet pressas bakvägen in i vattentanken om det inte finns en backventil. Med doseringen inställd på 3 % och flödet på 800 l/min tar det en kvart att flytta över 400 liter tillsatsmedel. Man kan använda strålrörrör utan avstängningsanordning, annars måste pumpskötaren stänga inblandningen av tillsatsmedel eller lägga ur pumpväxeln när strålrören stängs.

Mellaninjektor

En injektor placerad mellan pump och strålrör kallas för mellaninjektor. En mellaninjektor ger en kraftig tryckförlust i slangsystemet, normalt 30–50 % av injektorns ingående tryck. Konstruktionen är robust, men injektorn ger tyvärr endast rätt inblandning av skumvätska inom ett litet intervall av tryck och flöden. För att ge rätt undertryck där stigarröret är kopplat till injektorn måste tryckförlusten över injektorn, alltså skillnaden mellan injektorns ingående och utgående tryck, vara rätt.

Är tryckförlusterna i slangsystemet mellan injektor och strålrör för stora vattenfylls hela venturiröret. Ett för stort mottryck kan bero på för smala eller för långa slangar, lokala tryckförluster eller på en för stor höjdskillnad upp till strålröret. Det allra största mottrycket fås om skumröret stängs helt. Då upphör vattenflödet genom injektorn och vatten hade strömmat ut genom tillsatsledningen om det inte funnits en backventil i mellaninjektorns anslutning. Vissa mellaninjektorer klarar maximalt två längder 38 mm slang efter injektorn, andra klarar upp till 200 meter innan tryckförlusterna blir för stora.

För att minska känsligheten för tryckförluster efter injektorn har den en automatisk fjäderbelastad shuntventil. Vid lågt mottryck leds en del av vattnet förbi injektorn. Vid ökat mottryck stänger ventilen successivt och vid högt mottryck passerar allt vatten genom själva injektorn. Därigenom kommer injektorn att blanda i samma mängd tillsatsmedel nästan oavsett hur många slanglängder som används efter injektorn.

Mellaninjektorn är känslig för rester av tillsatsmedel som blir stående efter användning. Rengöring efter användning kan bestå i att 10 liter glykolblandat vatten sugs upp: och att injektorn därefter sköljs ur fram- och baklänges. Efter noggrann torkning, kontroll av backventilens kula samt kontroll av att injektorn är fri från rost och skräp kan den placeras i uttryckningstjänst igen. Vintertid kan det bildas en ispropp i injektorn om den inte är torr vid start.

I synnerhet vid användning av mellaninjektor måste systemet vara väldimensionerat och kalibrerat. Det innebär att



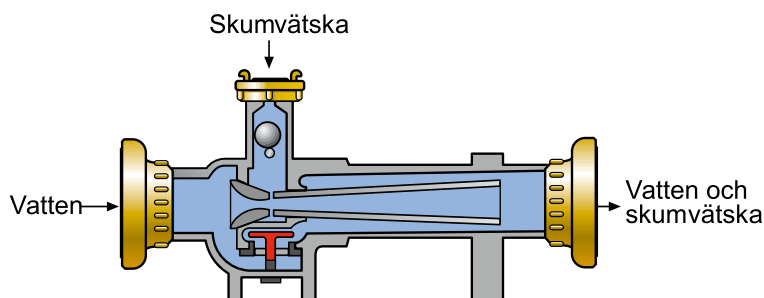
3.8 Användning av mellaninjektor och skumvätska i 25-litersdunkar. Med 200 l/min och 3 % skumvätskeiblandning varar en 25 l dunk i drygt fyra minuter.

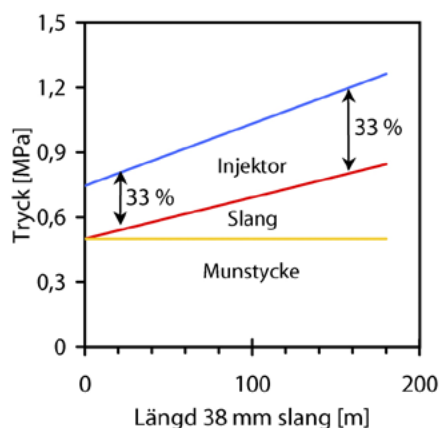
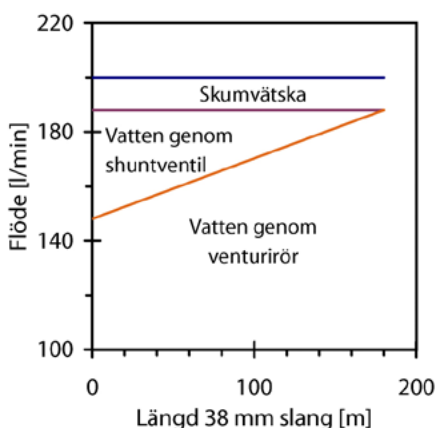
injektor och strålrör är avsedda för samma flöde, att antalet slanglängder efter mellaninjektorn är rätt, att pumptrycket är rätt vilket ger rätt munstyckstryck samt att höjdskillnader undviks, både mellan injektor och strålrör och mellan injektor och behållaren för tillsatsmedel. Mellaninjektorn är känslig för variationer i sughöjd och viskositet hos tillsatsmedel, vilket kan leda till feldosering.

Användning av mellaninjektor innebär att systemet i vissa fall kopplas upp först vid användning. Det kräver extra försiktighet så att inte sand eller skräp kommer in i injektorn vid montering eller vid byte av dunkar. Det krävs inte mycket skräp för att helt spoliera utrustningens funktion.

En injektor ges det ingående trycket 0,75 MPa. Tryckfallet över injektorn är 25–30 %, alltså 0,20 MPa, och med 0,05 MPa tryckförlust i slangen blir munstyckstrycket 0,50 MPa och flödet 200 l/min. Detta är systemet dimensionerat för, vilket framgår av märkplåtar på injektor och strålrör. Om strålröret lyfts upp 10 meter motsvarar detta en trycksänkning med 0,10 MPa. Då kommer flödet att minska till 175 l/min, samtidigt som injektorn fortfarande är dimensionerad för 200 l/min. Tryckfallet över injektorn minskar då, och inblandningen av tillsatsmedel blir för liten. Om i stället strålröret dras ner 10 meter under marknivå ger detta ett trycktillskott om 0,10 MPa. Då kommer skumröret att släppa igenom 225 l/min och med det ökade flödet kommer trycksänkningen över injektorn att bli större. Därmed blir också inblandningen av tillsatsmedel för hög.

3.9 Mellaninjektor med shuntventil.





Strålrörsinjektor

Direktsugande strålrör har en injektor monterad i strålröret. Arrangemanget kräver att behållaren för tillsatsmedel finns tillsammans med strålröret. Det här är därmed vanligast för små utrustningar där både behållare och munstycke kan bäras med, eller stora utrustningar där både tank och kanon är fast monterade. Fördelen är att behållare, blandningsutrustning och munstycke är integrerade och att endast en anslutning med vatten med rätt tryck behövs. Aktionstiden är begränsad för denna typ av system, men bortsett från detta är direktsugande strålrör en smidig lösning.

Om utrustningen ska användas med olika lång slang kan det vara en fördel om munstycket är utrustat med en manometer. Tryckfallet över munstycket varierar med hur mycket öppningsventilen öppnas, vilket kan vara ett problem hos vissa utrustningar. Det innebär osäkerhet i doseringen. Utrustningen bör därför kalibreras i det system som den används i. Ofta är denna typ av utrustning inställd för en något högre dosering än normalt. Det beror framförallt på att tillsatsmedlet inte alltid hinner blandas fullständigt med vattnet innan det lämnat strålröret.

Exempel på denna typ av system är ett munstycke med en fastskruvad mindre skumbehållare, så kallad skumpistol, eller ett skummunstycke med inbyggd injektor med stigarröret kopplat till en lös dunk eller en specialbehållare som bärs i

3.10 Med shuntventil i mellaninjektorn regleras pumstrycket så att skumrörets munstyckstryck blir rätt. Den relativa tryckförlusten är oberoende av slanglängden. (Persson & Andersson, 1995)

handen eller på ryggen med 10–20 liter skumväska. I samtliga fall kopplas en manöverslang direkt till skumröret. För att ge rätt dosering och därmed god skumkvalitet måste munstyckstrycket vara rätt. Pumptrycket ska alltså väljas i förhållande till slangsystemet, så att munstyckstrycket är det som tillverkaren rekommenderar. Skumkanoner monterade nära en skumväsketank har också ofta strålrörsinjektor. Detta ger en enkel lösning för till exempel en kanon monterad på en tankbil eller skumkärra. Utrustningen kalibreras så att det klart framgår vilket pumptryck som är lämpligt. Även mobila lättskumsaggregat är utrustade med strålrörsinjektor.

Mellantrycksblandare

Mellantrycksblandaren består av ett system där inblandningsutrustningen är integrerad med tanken för tillsatsmedel. Inblandningen sker genom att släckvattenledningen förses med en strypbricka. Uppströms denna placeras en förgrening, med till exempel 3 % av strypbrickans yta, som leder in i tillsatstanken. 3 % av släckvattenflödet leds då till tanken.

Tillsatsmedlet förvaras i en trycktank av stål, inneslutet i en gummisäck. Denna konstruktion är orsaken till namnet bladdertank. Vattnet leds in mellan ståltanken och gummisäcken. Trycket ökar då och pressar ut tillsatsmedel i en ledning som ansluter till släckvattenledningen nedströms strypbrickan. En egenskap hos mellantrycksblandaren är att systemet saknar sug sida. Tillsatsmedel sugs inte, utan pressas, ur tanken. Viskositeten hos ett tjockflytande tillsatsmedel blir då av underordnad betydelse.

Då tanken har ett övertryck, om än lågt, går det inte att fylla på tanken under drift. Trycktanken kan dessutom bli ganska otymplig och lämpar sig därmed bäst för små eller stationära anläggningar. Å andra sidan är systemet mycket robust och okänsligt för exempelvis variationer i tryck eller flöde.

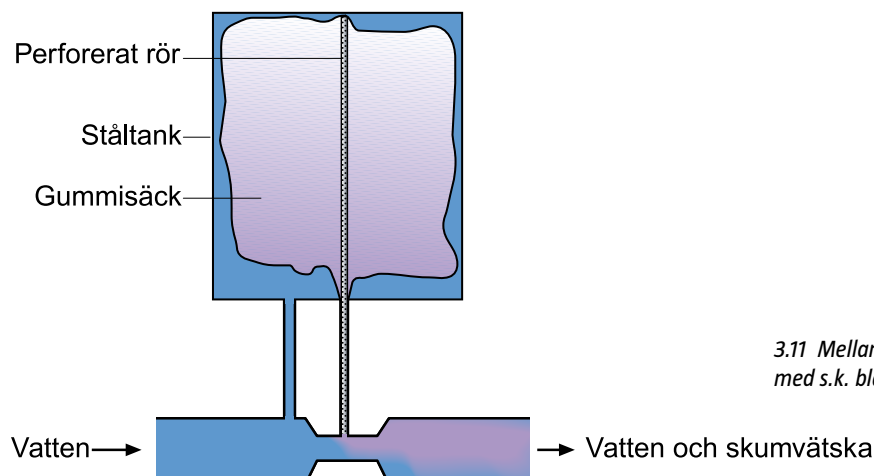
Vanligaste sättet att reglera mellantrycksblandarens dosering är genom att koppla in fler än en ledning till tanken. Med ledningar med 3 % och 6 % av strypbrickans yta kan 3 %, 6 % och 9 % inblandning fås, beroende på om endera eller båda ledningarna används. Det går även att göra en strypbricka med steglöst reglerbar strypning.

Om både vatten och tillsatsmedel finns lagrat i tankar kan tryckförlusten i ledningen regleras med mätmunstycken, innan ledningarna leds samman strax före pumpen. Detta ger ett enkelt doseringssystem, som dessutom är driftsäkert, underhållsfritt och billigt för en fast anläggning.

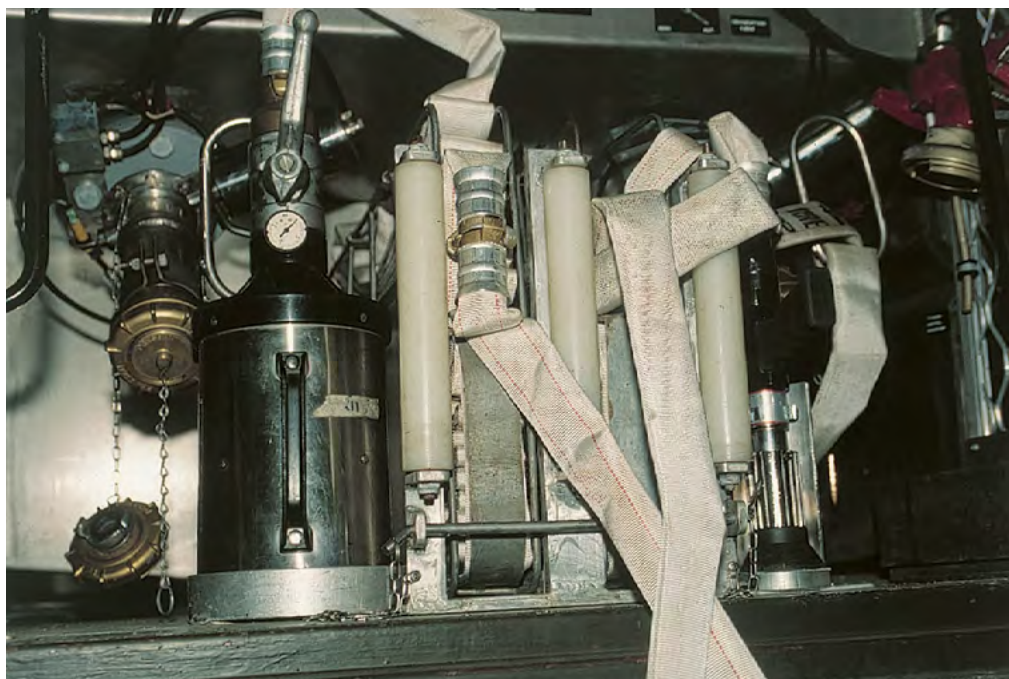
Vattenförsörjning vid användning av tillsatsmedel

Vid användning av tillsatsmedel krävs alltid tillgång till vatten. Inblandningen av tillsatsmedel är relativt liten, vilket innebär att vattnet till största delen behåller sina egenskaper. Vid tillsats av skumvätska ändras i första hand ytspänningen. Förändringarna är dock små och ger ett något ökat flöde. Hydrauliska beräkningar i övrigt kan därför göras som för rent vatten.

Innan släckinsatsen påbörjas ska hela slangsystemet vara på plats. Det ges inte möjlighet att skarva i ytterligare slang under insatsen, utan slangarna måste från början räckta runt branden. Behövs långa slangdragningar är öppen seriekörning att föredra för att minimera risken för vattenavbrott eller fel tryck i systemet. De flesta tillsatsmedel kan blandas in var som helst i systemet men skumvätska måste blandas in efter den sista pumpen. Görs inblandningen tidigare krävs sluten seriepumpning, annars kommer skumbildning i mellantanken att skapa stora bekymmer. Inom cisternparker och andra fasta anläggningar finns normalt särskilt förberedda släckvattenledningar.



3.11 Mellantrycksblandare med s.k. bladdertank.



3.12 Insattiden förkortas med färdigkopplade skum- och strålrör med automat-ventiler som öppnas när slangen dragits ut.

Jämn vattenförsörjning underlättas om slanglängder, slangdimensioner och strålrörskapacitet är någorlunda lika i systemets olika delar. Större system bör alltså vara så symmetriska som möjligt.

Snabbhet och manövreringsförmåga är viktigt vid skumsläckning. Då slangens tyngd är likvärdig med tyngden hos slangar fyllda med rent vatten är det lämpligt med 42 eller 38 mm slang kopplad till skumrören.

Det relativt låga munstyckstrycket i tung- och mellanskumrör innebär att 75 meter 42 mm smalslang (eller 50 meter 38 mm slang) kan användas till skumrör med kapaciteten 400 l/min. För skumrör med halva flödet kan fyra gånger så långa slangar användas. För skumkanoner krävs större dimensioner. Slanglängderna avser tryckförlusterna i slangsystemet. Skumblandningsutrustningen kan ge mindre slangsystem (Rosander & Giselsson, 1993).

Används mellaninjektor och 38 mm slang begränsar tryckförlusterna flödet till 200 l/min. Ska skumrör med högre kapacitet användas krävs antingen grövre slang, till exempel 42 mm, eller en mindre mottryckskänslig utrustning för inblandning av skumvätska.

Strålrör och skumgeneratorer

De flesta tillsatsmedlen kan används tillsammans med vanliga strålrör för vattensläckning.

De tillsatsmedel som bygger på att även luft blandas in kräver speciella skumgeneratorer. Det görs efter samma princip som när man blåser såpbubblor. Blandningen sprutas på ett finmaskigt nät, och när luft blåser genom nätet bildas bubblor. Ju mer luft som släpps in i skumröret, desto högre blir expansionstalet. Vill man markera att lufttillförseln sker i skumröret kallas skumröret för aspirerande. Skumgeneratoren kan också vara inbyggd i pumpen och då används ett slätborrat munstycke med stor diameter.

Skumgeneratorer förekommer i olika storlek, beroende på önskad kapacitet, och olika typ av skumgenerator används för att ge tungskum, mellanscum eller lättskum.

Luftinblandningen i skummet uttrycks med skumtalet, som är förhållandet mellan skumflödet och vätskeflödet, båda uttryckta i l/sekund. Expansionstalet kallas även skumtal eller expansionsfaktor. Beroende på hur mycket luft som blandats in brukar skum för brandsläckning delas in i de tre typerna tungskum, mellanscum och lättskum. Vanliga skumtal för de tre sorterna är 7, 70 respektive 700. Det är svårt att bedöma skumtalet hos skum utan att mäta. En grov uppfattning av skumtalet ges av att expansionstalet är ungefär lika med skumtäckets höjd i cm. Tumregeln gäller för skum som får flyta ut fritt utan invallning (Rosander & Giselsson, 1993).

Om mellanscum med skumtalet 70 påförs med hastigheten 400 l/min vid en skuminsats blir skumvolymen $70 \cdot 400$ l/min, eller $28 \text{ m}^3/\text{min}$.

Vid skumgenerering kan energin som munstyckstrycket representerar omvandlas på olika sätt. Energin kan användas till att ge skummet en god kastlängd (tungskum), en god skumkvalitet med små och jämnstora bubblor (mellanscum) eller ett högt skumtal (lättskum). Skummet släcker effektivare ju mer expanderat det är, så ju högre skumtal, desto lägre påföringshastighet behövs.

Ökas skumtalet, minskar kastlängden. Lättskum har i stort sett ingen kastlängd och är så lätt att det kraftigt påverkas av

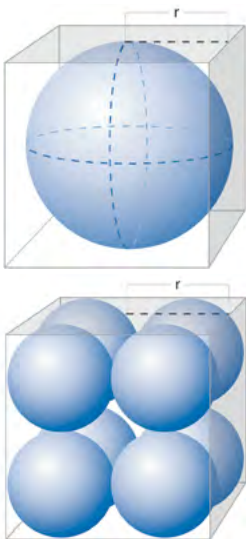
Skumsort	Skumtal
Tungskum	Mindre än 20
Mellanscum	20–200
Lättskum	Större än 200

3.13 De tre skumsorterna definieras av skumtalet.

vinden vid utomhusbruk. Mellanskum har en kastlängd på några meter och tungskum upp till några tiotal meter beroende på skumflöde och skumrörens utformning.

Skumtalet säger tyvärr inget om skummets kvalitet. Det mest stabila skummet ges med små och lika stora bubblor. Är skumbubblorna olika stora kommer de minsta, som har högst tryck, att tömma sig in i de större bubblorna där trycket är lägre. De stora bubblorna växer då ytterligare, väggarna blir tunnare och mer instabila.

Ju mer bearbetat skummet är, desto mindre blir skumblåsorna. Vid lika skumtal är ett skum med små bubblor stabilare än ett skum med stora bubblor. Ju mindre bubblor, desto tunnare blir vätskefilmen mellan dem. Därmed går utdräneringen av vätska långsammare och skummets konsistens blir mer gräddlik. Med stora bubblor blir vätskefilmen tjockare och dränerar ut lättare. Skummet blir då blaskigt. Dräneringstiden kan studeras genom att man mäter tiden det tar för ett skum att dränera ut exempelvis 50 % eller 25 % av sin vikt.

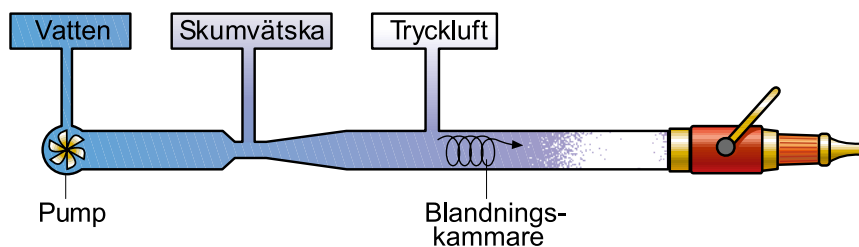


3.14 Med halva diametern blir bubblornas yta dubbelt så stor. Volymen är däremot oförändrad.

Ett klot som ligger i en kub har ytan $4\pi r^2$. Om det ersätts med åtta klot som har halva radien, kommer de att få plats i samma kub. De åtta klotens yta blir $8 \cdot 4\pi(r/2)^2 = 8\pi r^2$. Den sammanlagda ytan blir alltså dubbelt så stor som för det stora klotet. Det stora klotets volym är $\frac{4}{3} \cdot \pi r^3$. Volymen för de åtta små kloten blir $8 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi(r/2)^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$. Volymen är alltså lika. På motsvarande sätt blir skumbubblornas sammanlagda yta större om bubblornas storlek minskar, trots att skumtalet är lika i båda fallen.

CAFS

Det finns släcksystem där inte bara vatten och skumvätska blandas, utan där även luften tillsätts innan blandningen når strålröret. Resultatet blir tryckluftsskum som internationellt går under benämningen CAF eller CAFS, compressed air foam system. Luften tillsätts med hjälp av en kompressor eller tryckluftsflaskor för de mindre systemen. Kompressorn styr luftinblandningen och därmed expansionstalet till cirka 2–40. Blandningen bearbetas vid pumpen genom att pressas igenom borstar eller nätpaket och får en konsistens som vispad grädde. Den stora skillnaden mellan tryckluftsskum och vanligt skum



är att luftbubblorna blir mindre med tryckluftsskum vid samma skumtal och att skummet blir mycket stabilare. Med olika inblandningsförhållande mellan luft och vätska kan man få våtskum med bättre utflytningsförmåga, eller torrskum med bättre vidhäftning och stabilitet.

I slangen expanderar luftbubblorna allteftersom trycket sjunker. Om trycket sjunker från 0,30 MPa till atmosfärstryck ökar bubblornas volym 3 gånger. Bäst är ett helt öppet munstycke som arbetar vid ett lågt munstyckstryck, så att inte strålen splittras. Det finns även möjlighet att montera ett mellanskumrör som då arbetar in ytterligare luft i skummet, eller skumspik för slutna utrymmen.

Med CAFS tillsätts luften redan innan släckmedlet nått strålröret. Därför är det mest luft i slangarna, som blir mycket lättare. Dessutom blir strömningsförlusterna mycket mindre. Manöverslangen till CAFS kan därför vara hundratals meter lång.

Tungskumrör

Tungskum har genom sitt höga vatteninnehåll stor kastlängd. Generatorer för tungskum är strålrör som ofta kallas tungskumrör. I vissa, framförallt äldre, tungskumrör sitter ett långsträckt koniskt, ganska finmaskigt nät eller något liknande arrangemang, kallat förädlare. Tungskumrören är i allmänhet inte särskilt känsliga för variationer i munstyckstryck. Ökar trycket något så ökar flödet, men skumtalet är i princip konstant.

Manuella tungskumrör är vanligast med vätskeflöden om i storleksordningen 200, 400 eller 800 l/min oexpanderad vätska vid 0,5 MPa tryck. Större flöde än 400 l/min är dock svårt att hantera manuellt. Reaktionskraften hos en tungskumstråle är jämförbar med en sluten vattenstråle med samma flöde.

3.15 Utrustning för tryckluftsskum, CAF.

Vissa dimstrålrör blir konventionella tungskumrör med hjälp av en tillsats som kan kopplas på och som ger inblandning av luft. Annars ger dimstrålrör ett tungskum med mycket lågt expansionstal. Om strålröret riktas mot en vägg på kort avstånd kan ett mellanscum löddras upp. Är avståndet större blir resultatet tungskum. Att åstadkomma skum av god kvalitet med utrustning utan luftinblandning kräver träning.

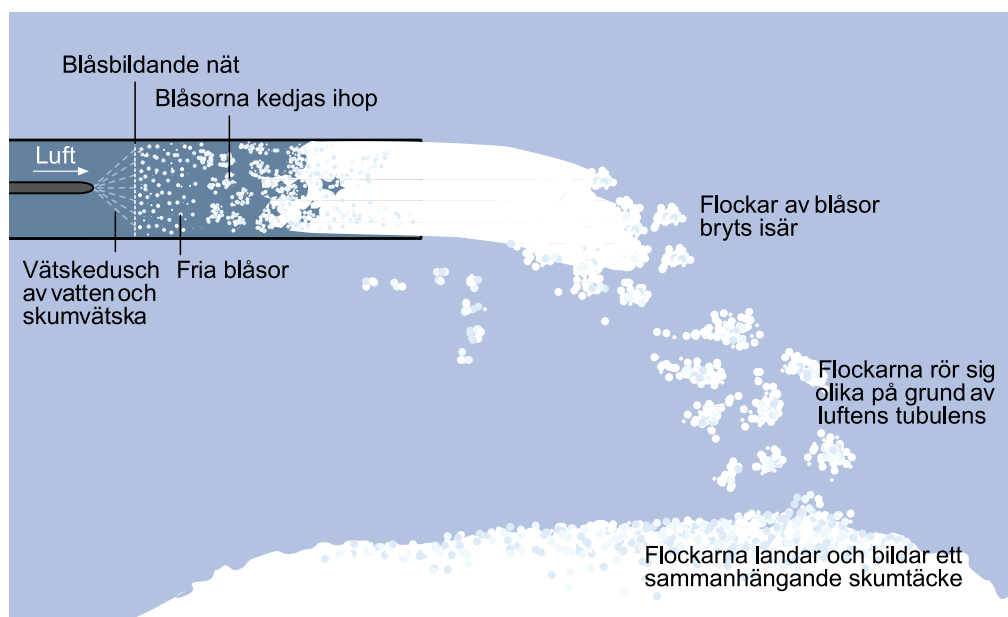
Skumkanoner har större kapacitet och kastlängd. Vätskeflödet är för de minsta portabla cirka 800 l/min och för de största, för brandbåtar och off-shoreskydd, 30 000–60 000 l/min. Skumkanoner monterade på fordon har normalt en kapacitet om 2 000–3 000 l/min. En skumkanon ger i allmänhet god kastlängd och har hög kapacitet, vilket är positivt för att snabbt slå ner en brand i brännbar vätska. När branden är nedslagen kan man växla över till manuella skumrör för att avsluta släckningen och underhålla skumtacket. De manuella skumrören har en avsevärt bättre rörlighet och därmed släckkapacitet.

En fordonsmonterad kanon ger kortast uppställningstid och har lång räckvidd med sin upphöjda placering, i synnerhet från höjdfordon. Om inte terrängen är farbar krävs en markplacerad kanon för att få bra placering, till exempel med hänsyn till vindriktningen. Manövrerbarheten är sämre än för fordonsmonterade kanoner, vilket gör det svårare att åstadkomma mjuk påföring med rätt bedömning av avstånd och kastlängd. För att träffa rätt är det bra att upprätthålla kontakt med någon som ser brand och skumstråle från sidan.

I vissa situationer används skumvätskeblandningen utan lufttillförsel och expansion i strålröret. Så är fallet om ett vanligt dimstrålrör eller dimkanon används. Om ingen luft blandas in i utrustningen kallas skummet för oaspirerat. Ibland används benämningen premix. Den senare kan dock förväxlas med blandningsmetoden där skumvätska och vatten blandas i tanken före användning.



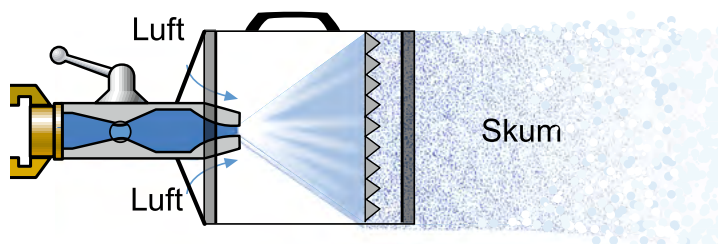
3.16 Tungskumrör.



Mellanskumrör

Mellanskumrören fungerar som tungskumrör med förädlare, men med större rördiameter och luftintag. Skummet framställs genom att skumvätskeblandningen sprutas genom en dysa med stor konvinkel över ett nät. Eftersom konvinkeln är stor blir reaktionskraften i skumröret liten, av samma skäl som reaktionskraften minskar hos ett vattenstrålrör vid övergång från slutet till spridd stråle. Kapaciteten hos mellanskumrör är normalt i storleksordningarna 200, 400 eller 800 l/min vid 0,5 MPa tryck, uttryckt i oexpanderad skumvätskeblandning, men större kapacitet förekommer. Det finns även mellanskumrör som är konstruerade för användning vid låga mun-

3.17 Framställning av skum och skumets färd genom luften.



3.18 Funktionen hos ett mellanskumrör.



3.19 Med ett kombirör kan mellan- eller tungskum väljas, beroende på situationen.

styckstryck, exempelvis om vattentrycket är lågt. De är till det yttre korta och tjocka på grund av dysans och blåsbildarens utformning, snarare än långsmala som skumrören för normala munstyckstryck.

Mellanskumrör ger ofta bäst skum för brandsläckning där det går att komma nära branden. Skumtalet ligger på 75–100 och kastlängden är 5–10 meter. För att kompensera den korta kastlängden kan ett eller flera mellanskumrör monteras på ett höjdfordon, därmed ökar räckvidden. Eller monteras i förväg i ett fast släcksystem.

Det finns även kombinationsrör som kan användas både för tung- och mellanskum. Med ett kombirör används tungskum för att slå ner branden så mycket att det går att komma nära. Sedan ställs röret om till mellanskum för den slutliga släckningen.

Vissa dimstrålrör har en tillsats som kan hakas på med ett enkelt handgrepp och som konverterar dimstrålröret till ett mellanskumrör. Konceptet blir extra intressant där fast monterad centrumrulle används och doseringsutrustning för skumvätska är integrerad i pumpen.



3.20 Fast installation för mellanskum.

Skumrör är kalibrerade för ett visst munstyckstryck, normalt 0,5 MPa, vilket ska framgå av skumrörets märkning. Om munstyckstrycket ökas kommer vätskeflödet att öka genom skumröret, samtidigt som luftflödet förblir i princip oförändrat. Då sjunker skumtalet och skummet blir blaskigt. Vissa skumrör har därför en flödesbegränsare. Samma problem uppstår om tilluftsöppningen oavsiktligt täpps till av exempelvis larmrocken eller om skumröret lagts på marken och börjar suga in färdigt skum.

Skumrör har ibland tryckmätare. Då kan strålföraren lätt se om munstyckstrycket är rätt och ge pumpskötarens besked om förändringar i pumptrycket behövs. Med rätt munstyckstryck blir flödet rätt, vilket är en fördel om doseringsutrustningen är flödeskänslig.

Lättskumsaggregat

Lättskumsaggregat skiljer sig konstruktionsmässigt från tung- och mellanskumrör. Skumnätet, blåsbildaren, är stort och det finns flera dysor som sprutar skumvätskeblandning. Ejektorverkan klarar då inte av att suga an tillräckligt med luft och lättskumsaggregat är därför utrustade med en fläkt, vilket tyvärr gör dem ganska otympliga. Fläkten drivs av en el-, vattenturbin- eller förbränningsmotor. Fläktar för brandgasventilation kan ofta utrustas med lättskumstillsats. Om lättskum fylls till hög höjd och aggregatet stängs av kan skummet rasa ut genom fläkten. Har aggregatet förbränningsmotor stannar den och kan vara svår att starta igen.

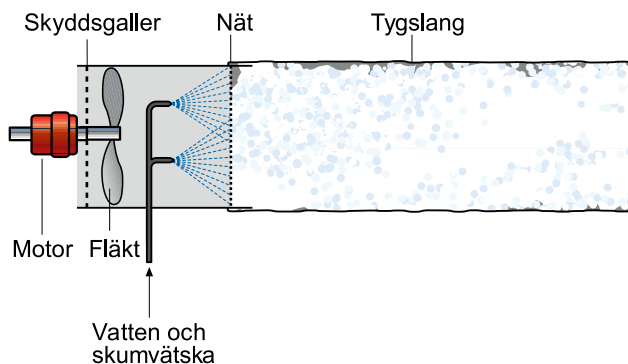
3.21 Övertrycksfläkt med lättskumstillsatst.



3.22 Batteridrivna brandgasfläkt med lättskumstillsats.

Vätske- och luftflödet regleras var för sig och ställs in så att rätt blandningsförhållande fås. Aggregat finns för skumkapaciteter från cirka 50 m³/min expanderat skum till 1 500 m³/min. Skumtalet är högt, vanligen 600–1 000. Fordonsmonterade aggregat kan fås med både stor kapacitet och med kastlängd. Kastlängden från normala lättskumsaggregat är i stort sett obefintlig, skummet snarare väller fram. Därför måste en slang, oftast av plast eller tältduk, kopplas till aggregatet för att leda skummet.

Om lättskum ska föras in i en byggnad används dörradapter, en skumslang med en utbuktning i änden. Slangen vidgas till det tredubbla och smalnar sedan av igen. Utbuktningen placeras i exempelvis en dörröppning och hålls sedan på plats



3.23 Funktionen hos ett lättskumsaggregat.

av egen kraft. Utbuktningen fyller ut dörröppningen och varken brandgaser eller skum kan smita igenom.

Då lättskumsaggregat i allmänhet är relativt otympliga bör lyft av lättskumsaggregatet med hjälp av höjdfordon övas särskilt. Detta är en viktig förberedelse för vindsbränder.

Användning av tillsatsmedel vid klass A-bränder

Vid släckning av klass A-bränder fungerar vätmedel ungefär som rent vatten. Skillnaden är att ytspänningen sänkts, vilket gör att ytor fuktas effektivare och att vattnet sugs upp snabbare. Det handlar om att göra vattnet som redan är effektivt ännu effektivare.

Vid brand i gummidäck är släckning med vatten med ytspänningssänkande medel snabbare än släckning med rent vatten. Även vid brand i fibrösa material är vatten med skumvätskeiblandning effektivare än rent vatten. Det innebär att eftersläckningsarbetet blir snabbare om ytspännings-sänkande medel används i vattnet för att slå ner en vindsbrand eller för att släcka en containerbrand.

Beträffande traditionella rökdykarinsatser mot vanliga rumsbränder finns studier som hävdar att släckning med tillsats av ytspänningssänkande medel blir effektivare än med vanligt vatten (Gravestock, 1998; de Vries, 2000). Det finns också studier av rumsbränder med träbränsle där ingen signifikant bättre släckeffekt kunnat påvisas med skumtillsats i vattnet (Bosley, 1998; Madrzykowski & Stroup, 1998). Förklaringen är att skillnaden är mindre ju snabbare släckningen går. Släcktiden styrs inte så mycket av volymflödet som av tiden det tar att täcka in bränsleytorna. Variationerna mellan olika insatser och valet av angreppssätt får då större inverkan än val av tillsats eller inte. Därför är det rimligt att dimensionera en släckinsats mot klass A-bränder med vatten med tillsats på samma sätt som motsvarande insats utan tillsats.

Hur vattendropparnas släckförmåga och storlek påverkas av tillsatsmedel är ett bara delvis utforskat område. Det är väl känt att små vattendroppar förångas snabbare än stora och kyler brandgaser mer effektivt. Samtidigt är det ytspänningen som håller ihop dropparna och om denna minskas förändras

Med inblandning av vätmedel används vattnet som vanligt men ger bättre yterkan.

droppstorleksfördelningen och därmed också strålens släckegenskaper. I exempelvis skärsläckaren minskar droppstorleken, både det aritmetiska medelvärdet och Sauter-medelvärdet, till ca 60 % av ursprungsdiametern vid vissa tillsatsämnen. Samtidigt minskar dropparnas hastighet. (Försth m.fl., 2012)

Varje droppe släckmedel ska göra nytta. Släckmedel på golvet i ett brandutrymme eller ännu värre, släckmedel som rinner iväg från en brandplats har inte gjort någon nytta och borde inte ha tillförts från första början. Klass A-skum bör därför användas endast i det utrymme som brinner eller mot en brandutsatt byggnadsdel. Vid större volymer undviks spridning med hjälp av invallning, brunnstättning och uppsamling.

Både skummet i sig och underliggande bränslen behöver tas om hand på ett miljömässigt riktigt sätt. För att underlätta uppsamling kan man tillsätta ämnen, defoam, som bryter ned skummet. Ämnet kan bestå av alkoholer i vattenlösning som bryter ned skum. Det kan också behövas tillsats av antifoam i exempelvis en våtdammsugare för att förhindra att det bildas nytt skum i uppsamlingsbehållaren.

Gelbeläggning och skumsegel

Det finns på vissa håll tät bebyggelse av trähus. Vanligen släcks bränder i dessa miljöer mycket snabbt, men ibland sprider sig branden och kan i extrema fall jämföras med en stadsbrand. Brinnande träbebyggelse ger hög strålningsintensitet, samtidigt som avstånden mellan äldre hus ofta är små. Vid större bränder i tät bebyggelse, eller i andra fall där risken för brandspridning är överhängande och värmestrålningen från branden är intensiv, kan beläggning med gel eller skumsegel vara användbart. En ridå av vattendimma är ytterligare ett alternativ som kan vara lika effektivt men har fördelen att inte kräva några tillsatsmedel. Dessa sätt är betydligt effektivare än traditionell vattenbegjutning för att skydda byggnader mot antändning via strålningsvärme. Framförallt beror det på släckmedlens förmåga att skapa ett sammanhängande täcke över en hel yta, vilket rent vatten inte klarar. Resursåtgången blir dessutom mindre. Samma resonemang gäller vid cisternparker och liknande anläggningar. Strålningsvärmens intensitet och det finns ledningar och annat i närheten som behöver skyddas.

Beläggning av gel görs med vatten med en gelbildande tillsats. Ett lager sprutas på takfot, väggar och andra brandpåverkade byggnadsdelar som ska skyddas och lämnas sedan ifred. När det torkat bort kan mer läggas på.

Skumsegel kräver skum med god vidhäftningsförmåga och stabilitet. Klass A-skum och CAF kan fungera utmärkt. Klass B-skum används endast till stora vätskebränder. Framförallt ska skumsegel inte kombineras med vattenbegjutning. På en vägg läggs alltid skummet nerifrån och upp. Ytan bör vara torr och inte ha blivit varmare än 80–100 °C. Är den för varm kommer skummet att rinna av.

Rumsfyllning med skum

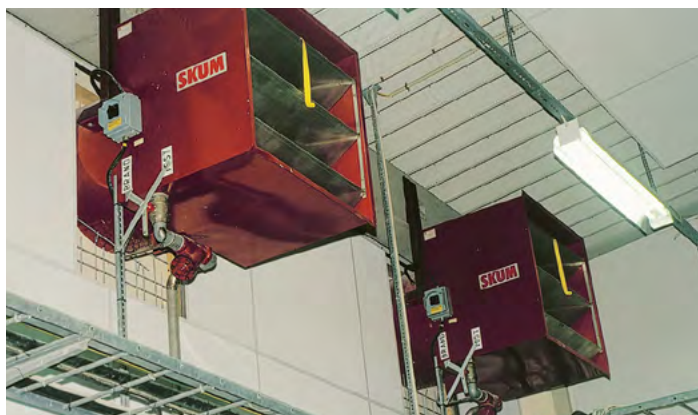
Enligt miljöbalkens produktvalsprincip blir sällan rumsfyllning med lättskum ett förstahandsval. Det är snarare ett alternativ för räddningstjänsten i de fall andra metoder inte bedöms som rimliga att genomföra på grund av risker, resursbrist eller av andra orsaker, och under förutsättning att det kontaminerade släckvattnet kan tas om hand. Det kan röra sig om kabelgravar, vindar eller lagerutrymmen. Det finns exempel där lättskum satts in långt efter brandstart och släckt branden snabbt, där andra metoder misslyckats. Till och med vid bränder i maskinrum, där kombinationen av brännbara vätskor och heta metallytor skapar problem, kan lättskum vara effektivt (Eriksson, 1965). Vid bränder i djurstallar, där normalt inte ens hälften av djuren kan räddas, kan det brinnande utrymmet, till exempel ett loft, kan fyllas med lättskum om förberedda luckor finns tillgängliga. Det är även möjligt att fylla själva djurstallet om inte djuren kan evakueras. Antalet andra alternativ är mycket begränsat (Olsson, 1988). I vissa trähusmiljöer är avstånden små mellan byggnaderna, ibland endast en halv meter. För att hindra brandspridning kan lättskumfyllning av dessa gränder vara ett alternativ om det utdränerade vattnet kan samlas upp. Beroende på utrymmets storlek behövs skum med olika utflytningsegenskaper. Ju mindre utrymme och framförallt ju lägre takhöjd, desto mer lättflytande skum behövs och desto lägre expansionstal. Mellanskum kan vara mest lämpat för en krypvind och lättskum för en vind med full ståhöjd.

Vatten som dräneras ut ur skummet släcker även glödbränder. Samtidigt är nackdelen med skum att ytor täcks vilket minskar möjligheten att med IR-kamera hitta och släcka glödbränder.

Genom att lättskum tillförs vid brandens tilluftsöppning kommer syrekonzentrationen att minska i brandrummet. Nedbrytningen av skummet är alltför långsam för att lufttillförseln genom skummet ska ha någon nämnvärd påverkan. Då ger vattnet i det skum som bryts ner större påverkan. Det förångas och ger en termisk barlast till flammorna. Vatteninnehållet i skummet är litet, men då den största skumnedbrytningen sker nära flammorna dräneras vattnet ut nära brinnande ytor. De brinnande ytorna kyls därmed, vilket innebär att släckeffekten blir god även mot bränder i fibrösa material.

En brand i en lagerlokal i Helsingborg 1990 gav automatiskt brandlarm halv fyra på morgonen. Det som brann var tonvis med tätt packat emballagematerial i papp och plast. När räddningstjänsten var på plats var lokalerna rökfyllda. Efter problem med tillträdet till lokalerna påbörjas en långvarig rökdykarinsats med dubbla rökdykargrupper. Med tiden blir personalen sliten och rasrisken ökar. Taktiken ändras. Rökdykarna retirerar och fyra stora portar öppnas. Grova vattenstrålar placeras i varje öppning, men når inte några nämnvärda framsteg, dock bildas mycket vattenånga. Åtta timmar efter larm läggs insatsen om igen och lokalen börjar fyllas med lättskum. En timme senare var lokalen fylld och rökutvecklingen upphörde. Skumtäckket underhölls i ytterligare fyra timmar och då var till och med de flesta glödbränder släckta (Rosander, 1990).

Lättskumsaggregat används i stort sett alltid inom slutna men tryckavlastade utrymmen, och ofta i fasta installationer. Då kastlängden är obefintlig och vindkänsligheten stor lämpar de sig sällan för utomhusbruk. Däremot har de en mycket stor skumproduktion i förhållande till använd mängd vatten och skumvätska. Lättskum är alltså ett mycket resurssnålt släckmedel. Trots att aggregaten är stora kräver de en mycket liten personell insats (Rosander, 1997).



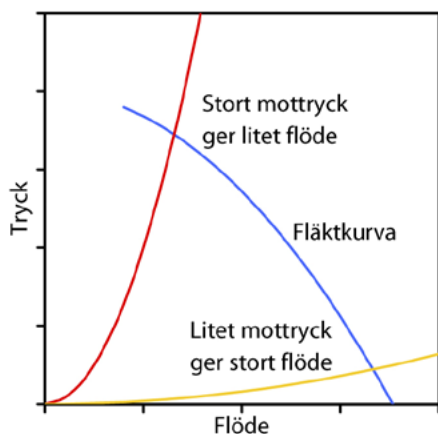
Lättskum, som ofta framställs i stationära aggregat, används för att skydda riskfyllda anläggningar och lokaler, till exempel flyghangarer och vissa industrier. Lokalerna måste ha brandgasventilatorer som öppnar direkt vid start av skumaggregaten och är dimensionerade för den överskottsluft som lättskumsaggregatet producerar. I annat fall blir mottrycket över aggregatet för stort och skumproduktionen avstannar. Det finns även speciella skumvätskor som inte bryts ner av brandgaser. Skummet kan då genereras i en fast anläggning med de brandgaser som finns i brandrummet. Med denna typ av anläggning är ventilationsluckor inte nödvändiga för skumaggregatens funktion. Planering av omhändertagande av kontaminerat släckvatten är en självklar del i varje fast skuminstallation.

3.24 Lättskumsaggregat till hangar. För aktivering krävs dubbelkommando.

Teknik för skumfyllning

Lättskumsaggregat placeras så att mottrycket blir så litet som möjligt: skummet leds in där branden och vinden skapar ett undertryck. Aggregatet placeras alltså i medvind så att skummet strömmar in i brandens tilluftsöppningar. Även om det är undertryck när aggregatet startas skapar aggregatet ett övertryck. Brandgaser kommer därmed att börja strömma ut ur öppningar som låg under neutralplanet från början.

På samma sätt som hydraulikens lagar styr flöden av brandgaser vid brandgasventilation styr de skumflödet vid en lättskumsinsats. Lättskumsaggregatet skapar endast ett litet övertryck. Därför måste det finnas öppningar i det rum som



3.25 Kapaciteten hos ett lättskumsaggregat varierar med mottrycket på samma sätt som pumpkurvan hos en brandpump.

ska skumfyllas, brandgasventilatorer fungerar ofta bra. Är öppningarna små kan flödet förstärkas med en frånluftsfläkt.

Är motståndet för stort, exempelvis för att frånluftsöppningar saknas, uteblir flödet i skumslangen samtidigt som dysorna i aggregatet fortsätter att spruta. När denna skumvätskeblandning rinner ur aggregatet är det ett tecken på att mottrycket är för högt.

Ytterligare ett skäl att köra lättskumsaggregat i medvind är att hindra att brandgaser sugas med. Både de främmande ämnena i

brandgaserna och den förhöjda temperaturen verkar kraftigt nedbrytande på de flesta skumsorter (Alvares & Lipska, 1972).

Under insatsens fortsättning kan öppningar behöva tätas om skum börjar välla ut och öppningar kan behöva tas upp för att åstadkomma en komplett fyllning. Tänk därför på att öppningar som tas upp kan behöva stängas igen. Ett öppnat fönster går att stänga igen, medan en sönderslagen ruta måste ersättas. En rulle plast och en häftpistol kan vara användbara för att sätta igen öppningar. Vid höga fyllnadshöjder blir trycket så stort att en plywoodskiva eller liknande håller bättre.

Vid släckning med lättskum behålls och underhålls skumtäcket tills släckning har säkerställts. Detta kan ta en timme efter det att fyllningen är klar, beroende på vad som brinner och glödhårdarnas djup.

Mellanskum mot brand i en krypvind kan appliceras via de flesta öppningar, till exempel takluckor, takfönster, håltagningar eller genombränningar. Begränsningen är att öppningen måste sitta så högt att inte skummet rinner ut. Används en öppning där det strömmar ut brandgaser finns risk att dessa sugas med i skumröret och förstör skummet. Skumfyllning av vindar bör övas särskilt, eftersom höjdskillnaden mellan pump och strålrör kan vara avsevärd. Det finns alltså risk att skumröret får fel munstyckstryck eller att skumdoseringen blir felaktig. Dessutom tillkommer komplexiteten med att hantera otymplig utrustning på hög höjd.

När branden är släckt ska skummet brytas ner för att lämplig restvärdesinsats ska kunna genomföras. Detta kan göras med

Öppningar behöver ofta både tas upp och stängas under insatsens gång.

en brandgasfläkt som förs genom skummet. Fläkten slår sönder luftbubblorna, som då kollapsar. Spridd vattenstråle kan också användas, men det kräver att vattnet kan samlas upp och tar dessutom längre tid. Då lättskum normalt inte är alkoholresistent bryts det effektivt ner med tillsats av alkohol i vattnet. Det finns även speciella tillsatsmedel för detta, defoam. För att undvika skumbildning i våtdammsugare kan tillsatsmedel mot detta tillsättas, antifoam.

Vintertid kan det bildade skummet frysa. Det gäller framförallt skum med höga expansionstal. Då bryts det ned långsammare och går inte att blåsa bort.

Under 70-talet genomförde Stockholms brandförsvär försök med lättskum mot källarbränder. Lättskumsaggregaten visade sig inte stå emot trycket som branden skapade. Skummet hamnade då på fel ställen och skumslangarna fick brännskador (Rosander, 1997).

En solig högsommardag ledde kapning av ett stålrör till antändning av en krypvind. Vid räddningstjänstens framkomst var vinden full av tjocka bruna och ganska varma brandgaser. Det fanns alltså risk för övertändning. Ett lättskumsaggregat rekvirerades och lyftes upp på taket. Skumfyllning skedde sedan genom en vindslucka. Ventilation skedde samtidigt genom att andra luckor öppnades i tur och ordning. Efter 15 minuters väntan blåstes en stor del av skummet bort och resten sögs upp av trävirket på vinden. För att släcka branden gick det åt 80 meter slang från en släckbil och ett lättskumsaggregat samt en hävare för att lyfta upp aggregatet. Hela insatsen var över på knappt en och en halv timme (Arredal m.fl., 1977). Detta var dock innan man blivit medveten om miljöproblematiken med tillsatsämnen, idag hade man aktivt fått ta hand om skummet och insatsen hade inte blivit lika enkel.

Lättskumsdimensionering

En insats med lättskum dimensioneras antingen så att lokalen fylls helt eller så att det brinnande föremålet täcks. En stighastighet hos skumtäcket med en meter per minut kan användas som utgångspunkt (Wilder, 1969).

En mer noggrann dimensionering utgår från tiden det tar att fylla rummet eller täcka brandobjektet med skum. Beroende på brandscenariot väljs denna tid till cirka 2–6 minuter

R [m^3/min]	Erforderligt skumflöde
V [m^3]	Fyllnadsvolym (rummets volym)
T [min]	Fyllnadstid, normalt 5 min
C_N [–]	Kompensationsfaktor för skumnedbrytning
C_L [–]	Kompensationsfaktor för läckage

för fasta installationer (NFPA 11A, 1994). En typisk vertikal stighastighet blir då 0,5–2,0 m/min. Om skumtalet är 1 000 motsvarar dessa värden en påföring av 0,5–2 l/m²min skumvätskeblandning, vilket är mindre påföring än för de allra flesta alternativa släckmetoder. Insatsen kan dimensioneras med hjälp av följande samband:

$$R = \frac{V}{T} \cdot C_N \cdot C_L$$

Lättskummets nedbrytningshastighet är normalt ungefär 0,1 m/min utan värmepåverkan. Med en strålningsnivå om 10 kW/m² ökar skummets nedbrytning till ungefär 0,2 m/min. Vid 20 kW/m² ökar nedbrytningshastigheten till 0,4 m/min, beroende på skumvätskesort, brandens storlek och läge samt skummets expansionstal (Holmstedt & Persson, 1985). Det betyder att nedbrytningsfaktorn kan sättas till 1,1 för rum som är opåverkade av brand. För rum som är fyllda av brandgaser kan 1,2 användas och vid övertänd brand blir faktorn 1,4. NFPA rekommenderar nedbrytningsfaktorn 1,15 (NFPA 11A, 1994). Läckagefaktorn blir 1,0 utan läckage. Vid brand i utrymmen med stora heta metallytor med mera kan dimensioneringen behöva förstärkas (Eriksson, 1965).

För fasta installationer dimensioneras en total skummängd större än fyllnadsvolymen. Den amerikanska standarden föreslår fyra gånger fyllnadsvolymen, dock som mest för 25 minuters drift (NFPA 11A, 1994).

Frånluftsöppningar behövs eftersom lättskumsaggregatet blåser in en stor volym skum i utrymmet som ska skumfyllas. Dimensioneringen av frånluftsöppningar sker analogt med dimensioneringen av brandgasventilation i allmänhet. En jämförelse med en övertrycksfläkt visar att cirka 1 m² ventilationsöppning behövs per lättskumsaggregat. Ju större flödesmotstånd i byggnaden, desto större öppningar behövs. Frånluftsöppningar placeras vid byggnadens/rummets motsatta ände och så högt som möjligt, brandgasventilatorer är perfekta. Är den tillgängliga ventilationsytan för liten kan flödet ökas med hjälp av en sugande brandgasfläkt i frånluftsöppningen. När insatsen påbörjats märks effekten i regel snabbt. Blir lättskumslangen

Om kapaciteten är känd, kan man i förväg uppskatta hur stort utrymme som ett lättskumsaggregat klarar att fylla.

blöt nära aggregatet är mottrycket för högt och fler eller större frånluftsöppningar behövs.

Vissa enklare lagerbyggnader kan vara så otäta att frånluftsöppningarna räcker till, vilket syns på att en stor mängd brandgaser lämnar byggnaden. Om skum används för fyllning av vindar räcker ibland vindens normala ventilationsöppningar vid takfoten. Andra typer av byggnader, exempelvis källare och skyddsrum, kan vara så täta att skuminsatsen helt spolieras om inte ventilationsöppningar skapas. Samtidigt finns det för källare byggregler som anger hur brandgasventilationen ska utformas.

En industrilokal mäter $20 \cdot 20 \text{ m}^2$ och har 5 meter i takhöjd. Volymen är då $2\,000 \text{ m}^3$. Om lokalerna är fyllda av brandgaser men täta blir det nödvändiga skumflödet $R = 2\,000 \cdot 1,2 \cdot 1,0/5 = 480 \text{ m}^3/\text{min}$ för att klara en fyllning inom fem minuter. Med lättskumsaggregat som ger $160 \text{ m}^3/\text{min}$ behövs tre aggregat. Med skumtalet 800 blir det nödvändiga vätskeflödet 600 l/min . Skumvätskeflödet blir vid 3 % inblandning 18 l/min . För själva fyllningen åtgår totalt $2\,900$ liter vatten och 90 liter skumvätska. Om en säkerhetsmarginal på fyra gånger rumsvoly-men önskas ger det totalt $11\,600$ liter vatten och 360 liter skumvätska. Lokalen har brandgasventilatorer motsvarande 1 % av golvytan, vilket räcker till.

Vätskebränder i spill och cisterner

Skum deltar i släckprocessen på flera olika sätt, vilka tillsammans gör att flammorna inte orkar hålla tillräckligt hög temperatur för att upprätthålla förbränningen. Skum verkar i stort sett uteslutande genom ytverkan.

Vid vätskebränder kan skum både slå ner en brand och ge ett skydd mot återantändning. När skumpåföring startar mot en brinnande vätskeyta kommer det första skummet snabbt att brytas ner. Vattnet i det nedbrutna skummet förångas, vilket innebär att bränsleytan snabbt kyls och att bränslets förångning minskar. Vattnet som förångas från skummet kommer dessutom att ge en termisk belastning på flammorna.

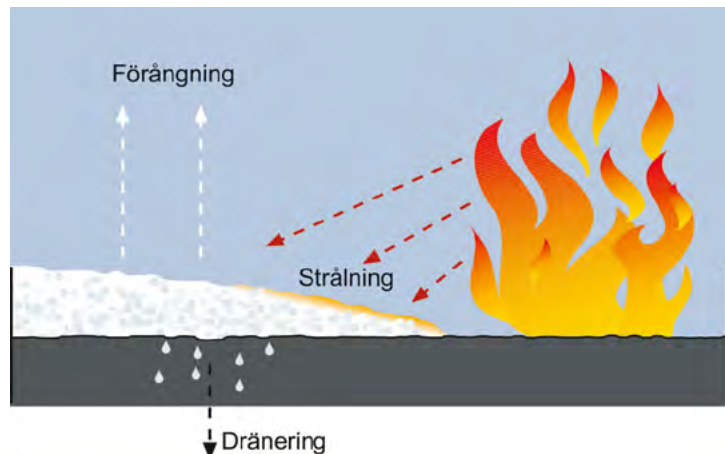
När ett skumskikt börjar byggas upp bildas ett sammanhängande täcke över bränsleytan, som minskar gasernas diffusion.

Bränsleångor hindras därmed från att ta sig igenom skummet. Denna avskiljande effekt gör att bränslekonzentrationen i flammorna blir så låg att temperaturen inte kan upprätthållas i flammorna. Effekten är tydligast hos filmbildande skumsorter, där en vätskefilm snabbt kan flyta ut över bränsleytan.

Skummet skyddar bränsleytan från flammornas värmestrålning. I och med att en mindre yta brinner kommer strålningsvärmén mot den övriga bränsleytan att minska och brandens intensitet avtar. Samtidigt skyddas släckta ytor genom skummets värmeisolerande förmåga.

Utan värmepåverkan är skummets nedbrytningshastighet låg, men den ökar markant vid värmepåverkan. Redan vid 5 kW/m^2 uppgår nedbrytningshastigheten för tungskum till cirka 1 cm/min och den växer sedan linjärt till det dubbla vid 35 kW/m^2 . Förångningen av vatten från ett skumtäckte är cirka $0,25 \text{ g/sm}^2$ per kW. Det innebär att om strålningen från branden är 10 kW så förångas $2,5 \text{ gram}$ skum per sekund och kvadratmeter. Ungefär 70% av den infallande energimängden används till förångning. Skumtäckets nedbrytningshastighet och förångningen från skumtäcktet är i stort sett oberoende av skumvätsketyp (Persson, 1993).

Så länge bränsleytan är varm avger den stora mängder bränsleångor som kommer att fortsätta brinna och förhindra uppbyggnaden av ett stabilt skumtäckte. Ju högre ångtryck ett bränsle har, desto lättare avger det brännbara gaser. Skum-



3.26 Skummet som flyter ut över bränsleytan påverkar branden på flera olika sätt.

täcket är inte så starkt att det står emot trycket från ett kokande bränsle. Redan med ett ångtryck hos bränslet över ungefär 0,03 MPa förmår inte skumtäcket hålla tätt och släcktiden ökar. Detta syns tydligast där metallföremål bryter igenom bränsleytan. Metaller når en så hög temperatur att bränslet runt metallföremålet kokar. Skumtäcket bryts ner både av metallen och av det kokande bränslet och kan därmed inte sluta tätt. Resultatet blir kant- och randbränder som är en viktig orsak till misslyckade skumsläckningsinsatser. Det räcker med en liten kantbrand för att skumtäcket ska brytas ner. Branden kommer då åter att breda ut sig om släckinsatsen avbryts. I det skedet är det för sent att komplettera insatsen med kylning av heta metallytor, gummidäck med mera. Kylning av dessa ytor måste ske från början, tillsammans med skuminsatsen.

Det stora problemet vid släckning av stora vätskebränder är att åstadkomma en total släckning. Branden är antingen släckt till 100 % eller inte alls och några mellanlägen finns inte. Vid användning av skum sker dock en eventuell återantändning relativt långsamt. Vid användning av andra släckmedel som pulver eller vattendimma kan återantändningen ske på ett par sekunder.

Att skumtäcket inte är gastätt innebär också att det inte finns någon garanti mot återantändning eller ansamling av brännbara gaser bara för att det ligger ett tjockt skumtäck över bränslet. Det enda sättet att få reda på bränslekoncentrationen i luften ovanför skumtäcket är att mäta med explosimeter.

Vid trafikolyckor behöver man normalt säkra mot brand, i synnerhet om olyckan har lett till spill. Både etanol och kylarglykol kan spädas med rent vatten till obrännbar blandning som kan samlas upp. Diesel tänder relativt långsamt och där kan det inledningsvis räcka med att hålla släckberedskap. Små utsläpp av bensin kan tas upp med absorptionsmedel. Men om utsläppet är större och om det finns fastklämda eller svårt skadade personer som inte kan flyttas omedelbart kan ett mellanskum läggas på bensinpoLEN. Ett skumtäck över bränsleytan minskar sannolikheten för antändning, vilket inte exempelvis beredskap med pulver gör. Det är väsentligt om det finns oskyddade personer i riskområdet, i synnerhet vid syrgasbehandling. Även en liten förhöjning av syrgashalten ger en märkbar ökning i bränders intensitet.

Att arbeta i ett skumtäckte skapar problem, utöver att skumtäckets förstörs och antändningsrisken ökar, till exempel om man tappar något ner i skummet eller om skumtäckets döljer hinder. Skumvätskeblandningen har också en tendens att sugas upp i byxbenen, vilket innebär att ordentlig skyddsklädsel krävs. Det är exempelvis inte självklart att ambulanspersonal har stövlar.

Klass B-skum används endast mot brand i brännbara vätskor. Detta gör miljöhänsyn extra viktigt eftersom brännbara vätskor är ämnen som i sig ofta påverkar miljön. Eftersom varje droppe släckmedel ska göra nytta borde släckmedel som rinner iväg från en brandplats inte ha tillförts från första början. Spridning i miljön undviks med hjälp av invallning, brunnstättning och uppsamling. Principerna är samma som vid uppsamling av kontaminerat släckvatten utan tillsatsmedel. Men, samtidigt är det ännu viktigare vid skumanvändning eftersom skummet löser andra ämnen och transporterar dem effektivare än vanligt vatten.

3.27 Ansulex-system utvecklat för att släcka brand i fritöser.





3.28 Skumsprinkler släcker vätskebrand i en industriell process. Vid själva utsläppet krävs ibland en kompletterande manuell insats.

Skumsprinkler

Skumsprinkler förekommer liksom vattensprinkler i våtrörsystem och torrörsystem och fungerar i stort sett på samma sätt. En särskild anordning krävs dock så att skumvätska inte kan komma ut i det kommunala vattennätet vid tryckförändringar i systemet. Skumsprinkler kan exempelvis installeras i produktionsanläggningar med speciellt höga brandrisker på grund av brandfarlig vara.

Även fasta CAF-system finns med tillämpning inom industri, vägtunnlar med mera. För att ge god spridning används roterande munstycken.

Många system är halvfasta och behöver vid brand kompletteras med räddningstjänstens utrustning. Andra anläggningar kan vara halvautomatiska och kräva manuell aktivering av räddningstjänsten.

Här kan även nämnas de små släcksystem som installeras i restaurangkök för att kompensera för bristfällig sektionering mellan kök och matsal. En tryckladdad behållare av samma typ som i handbrandsläckare med färdig släckmedelslösning kombineras med ett fast rörsystem, automatisk detektering och aktivering (Brandklass F, 2019).

Påföringsteknik

Släckning av cisternbränder behandlas endast översiktligt här. För dem som har större cisterner i kommunen rekommenderas litteraturen kring utrustningen för storskalig oljebrandsläckning (Storskalig oljebrandsläckning, 2001).

Cisterner har normalt fasta anordningar för påföring av skum. Påföring uppifrån, toppåföring, används ofta om cisternen har ett tak som flyter på den lagrade vätskan. En fast skuminstallation släcker eventuell brand vid kanten mellan det flytande taket och cisternens mantelyta. Nackdelen med system för toppåföring är att de kan skadas av branden. I så fall finns inga andra möjligheter än att påföra skummet direkt på bränsleytan med hjälp av tungskumskanoner.

Skum kan även föras in underifrån, genom botteninföring. Systemet används för cisterner med fast tak. Metoden kräver att skummet tillförs under tryck. Till detta används speciella tryckskumrör. Ett tryckskumrör ska både kunna producera skum och övervinna vätskestrycket i botten av en cistern. Munstyckstrycket måste vara 0,5 MPa plus trycket från vätskepelaren i cisternen, högst cirka 0,2 MPa, vilket ger ett totalt munstyckstryck om 0,7 MPa. Tryckskumröret består förutom luftintag och blåsbildare även av en backventil så att bränslet inte kan rinna ut genom skumröret. Tryckskumröret ansluts till cisternens botten via en tillförselledning som är utdragen till säkert avstånd från cisternen. För att undvika att skumröret knäcks av tyngden hos de fyllda slangarna bör det pallas upp i bakkanten, exempelvis med en skarvstege.

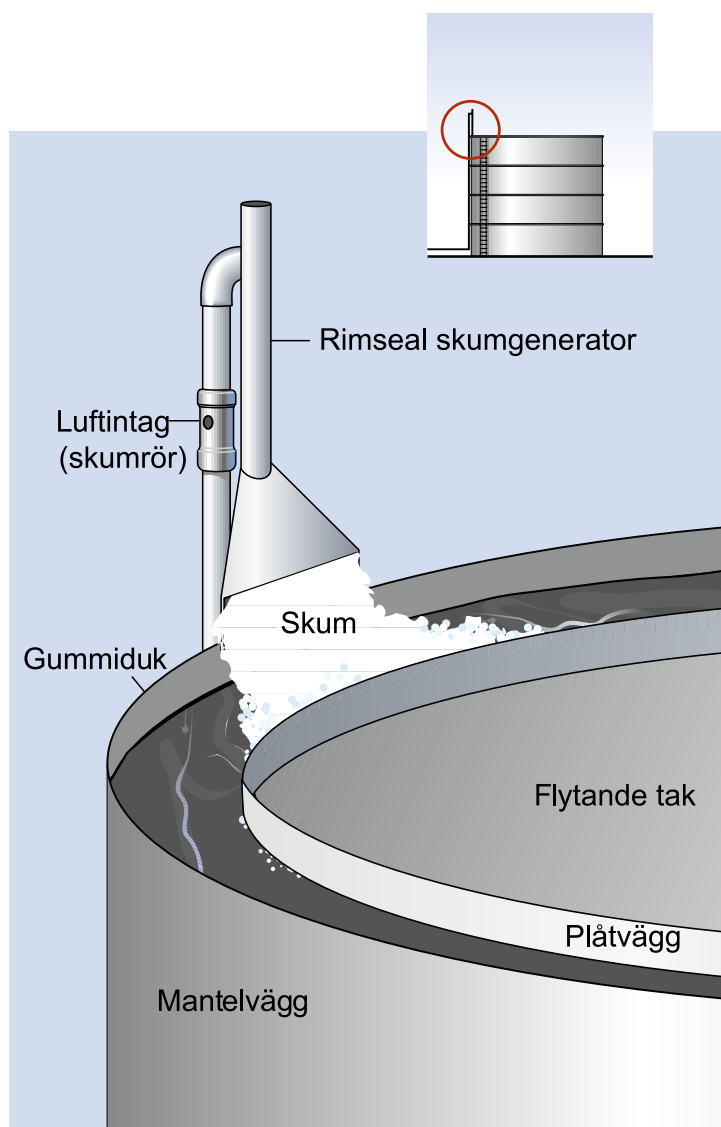
Cisterner för klass III-vätskor eller högre har direkt botteninföring, även kallad sub surface-införing. Cisterner för klass I- och II-vätskor har anordningar så att skummet tillförs genom en slang direkt till ytan så att skummet inte blir kontaminerat med produkten och så att gelbildaren i alkoholresistenta skumvätskor inte aktiveras innan skummet nått bränsleytan. Metoden kallas för semi sub surface-införing.

Cisterner har alltid förberedda system för skumpåföring. På motsvarande sätt ska självklart uppsamlingen av släckmedel planeras.

Hur skummet påförs har stor påverkan på släckresultatet. Att utflytningen ska vara snabbare än nedbrytningen kan översättas i taktiska regler för skumsläckning. Genom att

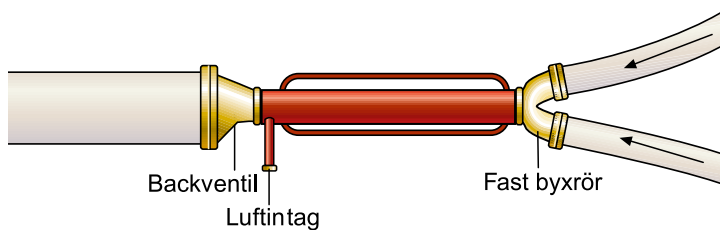
kraftsamla, alltså att ha nödvändiga resurser på plats innan släckinsatsen påbörjas, garanteras att resurserna räcker även för att förhindra återantändning.

Skuminsatsen får bäst effekt om branden slås ner snabbt. Det kräver att släckinsatsen startas samtidigt av alla strålförare och genomförs som en väl koordinerad insats. Genom samtidigt angrepp ges en snabb minskning av strålningsvärmen.

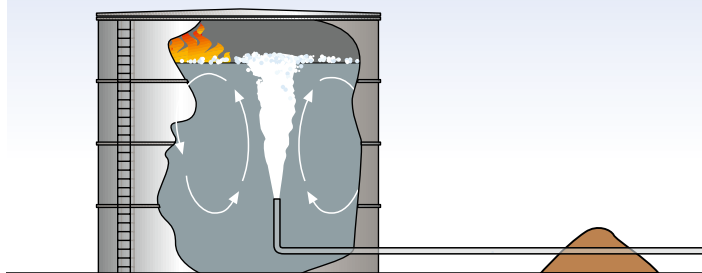


3.29 Skumpåföring
uppiifrån med fast skum-
generator för cistern med
flytande tak.

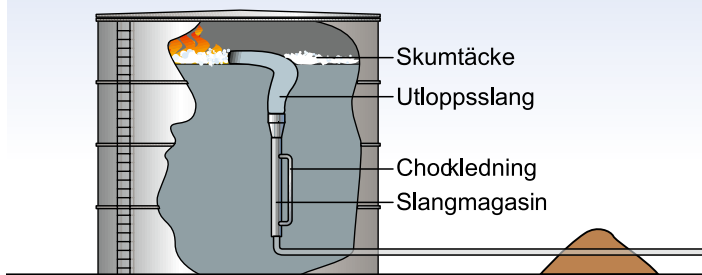
3.30 Tryckskumrör.



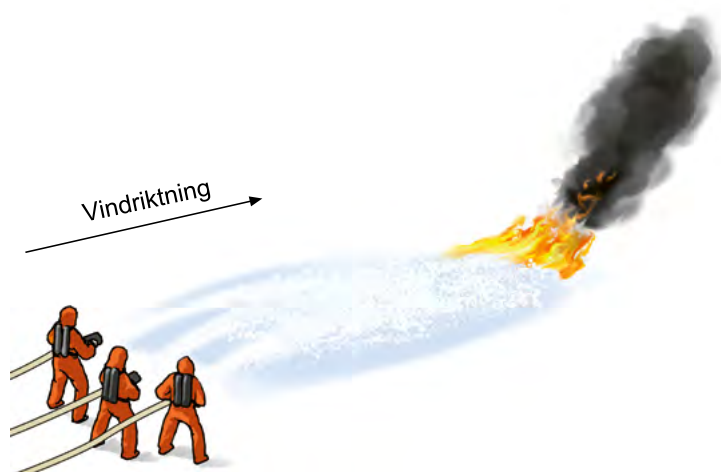
Sub surface



Semi sub surface



3.31 Botteninföring med, respektive utan, uppflytande slang för skydd av cistern med fast tak. I båda fallen används tryckskumrör.



3.32 Använd vinden och kraftsamla för att få så hög utflytningshastighet och så bra resultat som möjligt.

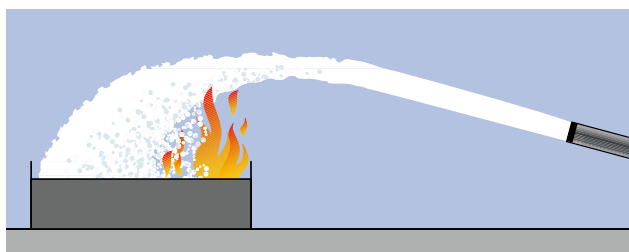
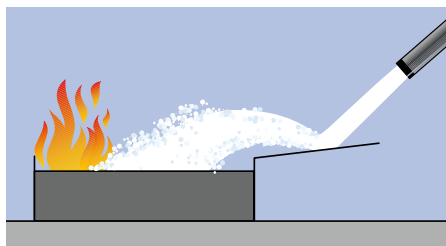
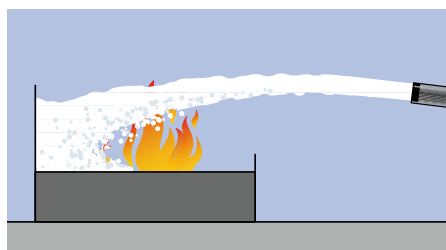
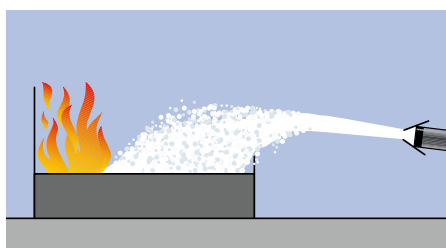
Med förtätad påföring, det vill säga att flera strålar ges samma utgångspunkt för släckningen, blir skumpåföringen lokalt överstark och kan säkert slå ner branden. När släckningen har fått ett säkert fäste riktas strålarna åt var sitt håll. Värme-strålning är en av de viktigaste orsakerna till varför skum-täcket bryts ner och till varför strålförare inte kan närma sig branden. Att kombinera skuminsatsen med pulver kan därför övervägas för att ge en snabb dämpning av strålningsvärmen. Pulver släcker inte branden, men kan ge en tillfällig sänkning av strålningsintensiteten. Pulvermolnet riktas mot den punkt som har störst brandintensitet.

Då skummet expanderats kan det påverkas av vinden. Expan-derat skum bör därför om möjligt alltid läggas ut i medvind. Med vinden i ryggen blir skumutflytningen snabbare. Dessutom blir strålningspåverkan på skumtäcket mindre. En bonuseffekt av medvind är att strålföraren slipper stå i brandgaser och flammor och därmed har bättre kontroll över och säkerhet i sitt arbete. Ett annat sätt att åstadkomma snabb skumutflytning är att angripa långsmala bränder från ena kortsidan.

Riktas en tungskumstråle direkt mot en brinnande vätskeyta piskas bränsle upp. Det både förstör skummet och ökar brandens intensitet. I stället måste strålens anslagsenergi minskas och skummet påföras så mjukt som möjligt för att inte störa vätskeytan.

Genom lång kastlängd splittras tungskummet av luftmotståndet och får regna ner över ytan, vilket i de allra flesta fall ger ett gott släckresultat. När en del av branden släckts av måste strålföraren avancera för att kunna nå resten av branden. Då måste en annan teknik användas för att ge mjuk påföring.

Strålen kan riktas ner i marken strax framför bränslepölen, så att skummet studsar på plats. Detta innebär att skumtalet ökar något av den extra bearbetningen vid studsen mot marken. Detta är därmed ett av de mest effektiva påföringssätten.



3.33 Olika principer för mjuk påföring av tungskum: lång kastlängd, markstuds, väggstuds, spridare.

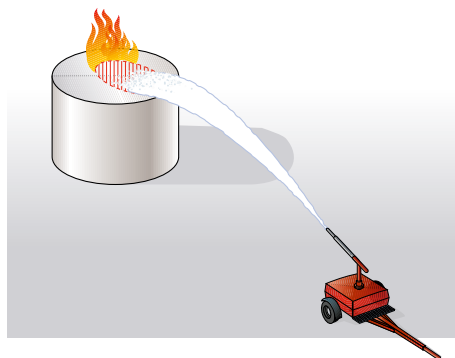
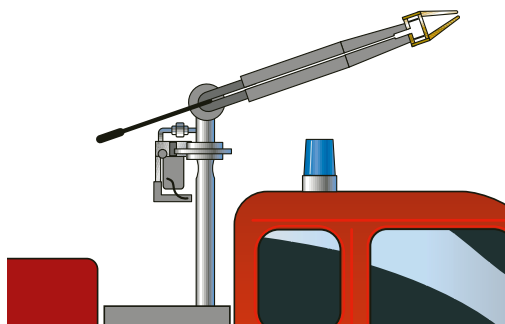
Vid ytterligare avancemang, när strålföraren nått bränslekan-
ten, kan strålen riktas mot exempelvis en cisternyta eller vägg.
Anslagsenergin tas upp när strålen träffar väggen och skummet
rinner stilla ner längs väggen och ut över bränsleytan. Att rikta
strålen mot en cisternyta är ofta lämpligt även i inledningen av
ett angrepp. Då kyls ytan och risken för besvärliga kantbränder
minskar. Dessutom är det cisternen som behöver skyddas mot
värmestrålningen. Detta är även orsaken till varför en skum-
kanon placeras i längdriktningen på brinnande flygplan eller
tankvagnar. Tungskummet landar uppe på flygplanskroppen
eller tanken och får rinna längs sidorna som därmed hålls
kylda. Skummet når bränslet mjukt och börjar släcka direkt
under flygplanskroppen eller tanken, där det är svårast att
komma åt med manuella strålar.

Skumkanoner är ibland utrustade med spridare, två metall-
skivor som klämmer ihop skumstrålen och därmed tar upp
en del av energin. Ibland används den engelska beteckningen
flaps. Strålen splittras och får kortare kastlängd, en bredare
och mjukare träffbild och bättre släckeffekt. Kanonens kast-
längd kan därmed regleras utan att pumpens varvtal behöver
ändras. Varvtalet styr ju inte bara munstyckstrycket utan även
skumvätskeblandningen. Dessutom styr varvtalet trycket vid
övriga strålrör.

På motsvarande sätt kan strålen från ett manuellt tungskum-
rör splittras genom att man håller handen framför munstycket
och låter strålen sila mellan fingrarna. Vid användning av
kombirör används till en början tungskum. Så snart värmestrål-
ningen tillåter växlas till mellanskum, som kan påföras direkt.

3.34 (nedan till vänster)
*Med skumkanon blir träff-
bilden ungefär elliptisk.*

3.35 (nedan till höger)
Skumkanon med spridare.



Mjuk påföring, vinden i ryggen och kraftsamling ger den snabbaste och mest effektiva släckningen med skum. (Persson, 1987a).

Indirekt påföring, med studs eller med väggstuds, är förmodligen de vanligaste manuella påföringssätten för tungskum i praktiken. Direkt påföring ger normalt det sämsta släckresultatet, men är det enda möjliga påföringssättet vid riktigt stora bränder.

Mellanscum som alltid har mjuk påföring eftersom anslagskraften är låg används så snart värmestrålningen tillåter. Eftersom mellanscum inte skyddar strålföraren kan det vara lämpligt att vänta tills tungskum har dämpat branden eller arbeta i skydd av till exempel ett pulvermoln eller strålen från ett dimstrålrör.

Inledningsvis riktas mellanskumröret så att strålen träffar brandens närmaste kant. När skumtäckets börjar byggas upp riktas strålen alldeles bakom kanten på täcket och förs från sida till sida så att täcket byggs ut både framåt och åt sidorna.

Är skumröret konstruerat med en uppläggningsanordning kan det ställas på marken. Saknas en sådan anordning bör en strålförare manövrera skumröret. Annars kommer det producerade skummet att hamna runt skumröret och dras in i luftinsuget varvid skumbildningen uteblir. Dessutom är lufthastigheten hög, vilket innebär att skräp kan sugas med och sätta igen skumnätet.

Att vara rädd om skumtäckets innebär också att undvika att gå i spillet, att dra slangen så att skumtäckets inte skadas och att se till att eventuella kylinsatser med vatten inte bryter ner skumtäckets.

3.36 Vid släckning av klass B-bränder krävs alltid total släckning för att undvika återantändning. Mellanscum är effektivt mot kant- och randbränder, men man bör undvika att gå i bränslespillet.



När branden slagits ner återstår ett viktigt arbete med att släcka de sista lågorna. Det kan gå åt stora mängder skum för att släcka de sista kantbränderna, men allt måste släckas. Annars kommer en återantändning att ske och hela insatsen har varit förgäves.

Släckningen försvåras om det finns föremål som sticker upp ovanför ytan. En kombination av mellanskumrör för täckning av bränsleytan och dimstrålrör för kylning och släckning av andra föremål kan då vara lämplig. Metallföremål värms snabbt upp av branden och kan till och med hålla en temperatur över den nivå där vätskan antänder spontant. Skummet bryts dessutom ner vid värmepåverkan. Vid dessa fall måste strålföraren dels flytta sig runt för att komma åt hela brandytan, dels se till att framförallt metallföremål kyls ned så mycket att skumtäckets kan hållas helt.

Likaså är återantändningsrisken stor när branden verkar släckt. För detta krävs en taktisk beredskap. Det gäller att hålla positionerna, att se till att reserverna är fyllda och att skumtäckets bibehålls. Vid underhåll av ett befintligt skumtäckets är mellanskum ett förstahandsval.

I många fall är det inte en ren vätskebrand som ska bekämpas. Ett brinnande fordon i en bensinpöl innebär att släckinsatsen måste inriktas dels mot det brinnande bränslet, dels mot att släcka bilen invändigt, dels att kyla metallen för att förhindra återantändning samt slutligen för att bekämpa brand i gummi och/eller lättmetall i hjulen.

Dimensionering av skuminsats mot oljebränder

Dimensionering av skuminsatser vid vätskebränder bygger på att man nöjer sig med kylning av särskilda objekt och avvaktar med släckning tills nödvändiga resurser har byggts upp. I vissa situationer bör dock en insats göras med de resurser som finns omedelbart tillgängliga. Det gäller när syftet inte är att släcka utan att göra en tillfällig inbrytning för att rädda människoliv eller kanske för att begränsa ett utflöde genom att stänga en ventil. Det finns också skäl att uppskatta den totala brinntiden. För att



3.37 Utläggning av mellanskum i halvcirkelsvep.

Skuminsatsen kan sammanfattas i begreppen kraftsamling, samtidigt angrepp med rätt påföring, akta skumtäckets och taktisk beredskap.

3.38 För att säkra en mindre eller avsidig belägen olycksplats kan det räcka med ett mindre skumrör som suger an skumvätskan från en behållare integrerad i munstycket. Med 3 % inblandning räcker varje liter skumvätska till 33 liter blandning. Med expansionsstalet 100, expanderas vätskan till $3,3 \text{ m}^3$ mellanskum. Om skumnedbrytningen försummas, räcker därmed varje liter skumvätska till ett 10 m^2 stort och $0,3 \text{ m}$ tjockt skumtäck. Detta kräver dock att utrustningen ger bra skum. Är utrustningen inte riktigt kalibrerad eller om den används på ett felaktigt sätt, kan skumbildningen utebli eller kapaciteten bli för låg. I praktiken blir skumvolymen därför mindre.



insatsen ska vara till nytta bör den totala brinntiden rimligen vara mycket större än den tid det tar att starta och genomföra en insats.

Bensin brinner av med ungefär $4,5 \text{ mm}$ per minut och bränsledjupet avgör hur länge branden varar. Anta att hela lasten ur en tankbil med 30 m^3 bensin runnit ut och bildat en spillyta. Är ytan 100 m^2 blir bränsledjupet i genomsnitt 300 mm och brinntiden i storleksordningen 70 minuter, även om tiden lokalt blir betydligt kortare eller längre eftersom bränsledjupet varierar. Ett 500 m^2 spill på en plan yta blir 60 mm djupt och brinner slut på knappt 15 minuter. Det har med andra ord redan brunnit upp till största delen innan någon släckinsats hunnit organiseras.

Det mått som används för att avgöra skummedlets effektivitet är mängden oexpanderad skumvätske-vattenblandning som krävs för att släcka en specifik brand. Måttet kallas för kritisk påföringshastighet och uttrycks för tungskum och mellanskum i enheten oexpanderad vätska per m^2 och minut. Den oexpanderade blandningen kommer att ta avsevärt större plats när den expanderats. Den alstrade skumvolymen fås genom att multiplicera skumtal med påföringshastighet.

Normala påföringshastigheter för tungskum och mellanscum är 3–6 l/m²min oexpanderad skumvätskeblandning och denna dimensionering tycks vara relativt oberoende av brandens yta upp till cirka 1 000 m². För större bränder saknas experimentella data. I de allra flesta fall är det rimligt att använda tillverkarens rekommendation. Det finns exempel där CAFS med klass A-skum och mellanskumrör använts med 2,8 l/m²min och klarat 60 m² brinnande bensin (Lindsjö, 2015).

Situation	Förutsättning	Påföringshastighet [l/m ² min]	Påföringstid [min]
Ej invallat spill, lastningsplatser	P- och FP-skum	6,5	15
Ej invallat spill, lastningsplatser	övriga skum	4,1	15
Invallat spill	fasta strålrör på låg nivå	4,1	20/30*
Invallat spill	kanon	6,5	20/30*
Cistern, fast tak	sub-surface	4,1	55/30**
Cistern, fast tak	manuella skumrör eller kanoner	6,5	65/50**
Cistern, flytande tak	över kant	12,2	20

* för klass II- respektive klass I-bränslen.

** för polära bränslen samt bränslen med flampunkt lägre än 38°C respektive för bränslen med flampunkt mellan 38°C och 93°C.

På motsvarande sätt som det finns vattensprinkler med högt flöde och kort släcktid kan skuminsatser dimensioneras med upp till exempelvis fem gånger så högt flöde. Släcktiden sänks radikalt, vilket ger en totalt sett minskad släckmedelsåtgång.

Även om kastlängden är god är det värt att komma ihåg att spillet på väg till nedslagsplatsen kan vara betydande. Detta gör att strålar bör placeras så att de utnyttjas optimalt. NFPA rekommenderar 50 % högre påföring vid ett invallat spill som släcks med kanon än med lågt placerade fasta strålrör. Detta beror på svårigheten att få skummet på plats med kanoner.

År 1988 släckte Stockholms brandförsvär en tankbilsbrand i det fria med lättskum. Förhållandena var gynnsamma med slät mark och svag vind i ryggen (Rosander, 1997).

3.39 Dimensionerande påföring av mellan/ tungskum i l/m²min beroende på brand och skumvätsketyp, enligt amerikanska rekommendationer (NFPA, 11, 1994; NFPA 11A, 1994).

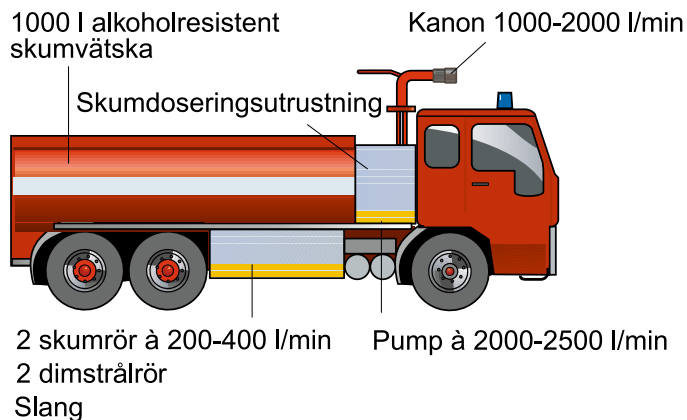
En annan faktor som kan bli avgörande är vinden. Är vinden kraftig och hälften av skummet blåser bort blir konsekvensen densamma som om skumpåföringen halverats.

Basutrustning för skumsläckning

Dimensionerande för släckkapaciteten med skum i många kommuner är en tankbilsolycka med brännbar vätska. Basutrustningen med 1 m³ klass B-skumvätska är tänkt att kunna hanteras av en insatsstyrka om en styrkeledare och fyra brandmän (Persson, 1990).

Påföring av skummet sker med en skumkanon, 1 000–2 000 l/min och två tung-/mellanskumrör, 200–400 l/min. Slangsystem dimensioneras så att flödet blir riktigt och inblandningsutrustningen så att doseringen blir enligt tillverkarens rekommendationer. Vattenflödet dimensioneras till 2 000–2 500 l/min vilket ges av en motorspruta klass III. Som komplement används två dimstrålrör, för kylning, släckning av gummibränder, personskydd med mera. Dimensioneringen räcker för släckning av ungefär 500 m² petroleumprodukter under 15 minuter. Med påföringshastigheten 4 l/m²min blir vätskeåtgången 30 m³. Med 3 % inblandning krävs knappt 1 m³ skumvätska och 29 m³ vatten. Vid brand i polära vätskor krävs högre inblandning, 6 %, och 1 m³ skumvätska blandas med 17 m³ vatten. Med samma påföringshastighet och tid kan en 300 m² brand i polär vätska hanteras.

Samverkan på regional och nationell nivå är intressant framförallt ur ett ekonomiskt perspektiv. Genom samordning kan lagerhållningen hållas på en rimlig nivå, samtidigt som det



3.40 Exempel på basutrustning för skumsläckning.

finns möjlighet att kontinuerligt omsätta skumvätskan. Vid inträffade bränder där resursförstärkning behövs är det bra att veta att skum finns lagrat på flera ställen, bland annat hos de stora skumleverantörerna.

Storskalig släckutrustning

Släckmedelscentralen, SMC, som ägs av oljebolagen tillhandahåller utrustning för släckning av större bränder i framförallt oljecisterner.

Utrustningen är tänkt att användas i första hand då oljecisterners fasta släcksystem av någon anledning inte klarar av att släcka en utbruten brand. Varje räddningstjänst har nämligen inte resurser att klara en cisternbrand ensam.

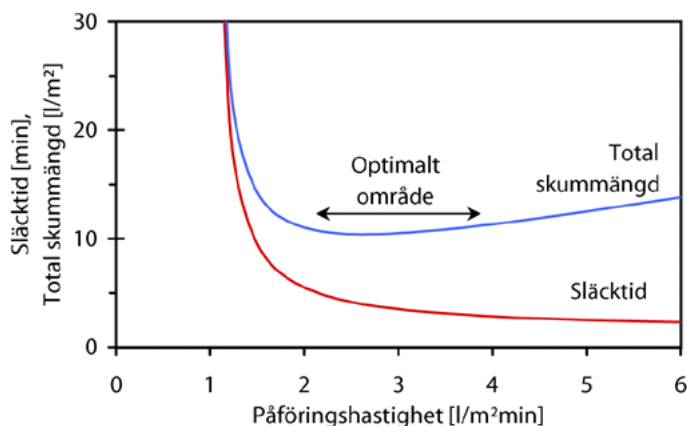
Fyra depåer finns, vid räddningstjänsterna i Göteborg, Malmö, Stockholm och Sundsvall. Vid varje depå finns en koordinator som ansvarar för kontakterna mellan räddningstjänsten och oljebolagen. Utrustningen finns samlad i ett containersystem, som därmed kan transporteras med lastbil, tåg eller flyg, allt efter behov. Vid varje depå finns två moduler, uppdelade i åtta containerenheter som fördelats på fyra lastbilar med släp. Varje modul består av en pump med kapaciteten 10 000 l/min vid 1,0 MPa. Pumpen är tänkt att arbeta vid öppet vattentag, eftersom flödena blir stora. Till den kopplas 400 meter dubblad 150 mm slang i femtiometerslängder och en kanon med kapaciteten 8 000 l/min vid 0,8 MPa. Inblandningsutrustning för 3 % eller 6 % kan dosera in de 16 m³ film- och gelbildande skumvätska som finns tillgänglig vid varje modul (Storskalig oljebrandsläckning, 2001). Systemet är dimensionerat för påförings-hastigheten 4,2 l/m²min för invallningsbränder och 10,6 l/m²min för påföring över kant vid cisternbränder.

Utrustningen hanteras av sex personer som har särskild utbildning för detta. De arbetar till vardags vid räddningstjänsten i respektive depåkommun. Gruppens chef ansvarar för släckinsatsen och samverkar med räddningsledaren. En styrkeledare ansvarar för utrustningen och är riktare. Två brandmän sköter var sin pump och därtill hörande slang. En brandman sköter skumvätskeförsörjningen och en manövrerar kanonerna.



3.41 Storskalig släckutrustning för skumsläckning.

3.42 Exempel på effektivitetskurva för skum.



Tiden det tar att släcka en stor vätskebrand beror av flera faktorer, exempelvis bränslets förbrinntid, vindhastigheten, skumvätskeval, möjligheten att komma nära branden etc. Det är därför en fördel att ta till i påföringstid. Vid spillbränder räknas ofta med skum så det räcker i 15–30 minuter och vid cisternbränder i 60–90 minuter.

Tiden som krävs för släckning avtar med ökad påföringshastighet. Vid höga påföringshastigheter visar det sig att släcktiden inte längre förkortas eller bara förkortas marginellt genom en ytterligare ökning av påföringshastigheten. Begränsningen ligger då inte i skummets släckkapacitet utan i den hastighet som skummet sprids över bränsleytan.

Tiden att täcka en brinnande bränsleyta med skum och därmed släcka branden beror bland annat av skummets påförings-, nedbrytnings- och utflytningshastighet. Påföringshastigheten bestäms av skumalstrarens kapacitet och skummets expansionsgrad. Skumnedbrytningen påverkas av bränslets egenskaper, framförallt ångtrycket vid bränslets aktuella temperatur. Skumnedbrytningen styrs också av värmestrålningen och konvektion från flammorna och andra uppvärmda ytor och av hur snabbt vattnet i skummet dräneras ut. Dräneringshastigheten påverkas bland annat av skummets viskositet och höjd. Nedbrytningshastigheten ökar med ökad strålningsnivå. Utflytningshastigheten beror till stor del av skummets viskositet. Den styrs också av rörelser i bränsleytan. Avgörande för om en släckning ska lyckas eller inte är om utflytningshastigheten vid flamfronten kontinuerligt överstiger nedbrytningshastigheten.

Tillsatsämnenas begränsningar

Det finns två viktiga begränsningar för användning av tillsatsämnen vid brandsläckning. Den ena är miljöbalken med bland annat produktvals- och försiktighetsprinciperna. Här måste man aktivt sätta sig in i vilka valmöjligheter som finns och medvetet välja det miljömässigt bästa alternativet.

Den andra begränsningen kopplar till de ämnen som brinner. Ämnen som inte kan släckas med vattenbaserade släckmedel är bland annat metallbränder och kemikalier som reagerar med vatten. Även mycket heta produkter, exempelvis vätskor som har en kokpunkt över 100 °C, är svårsläckta med vattenbaserade släckmedel.

Personskador av tillsatsämnen

De flesta tillsatsämnen är inte klassade som hälsovådliga. Viss försiktighet med långvarig hantering bör dock eftersträvas, exempelvis löser skumvätskor hudfetter och kan ge upphov till infektion och allergiska reaktioner vid långvarig kontakt med huden. Det finns också indikationer på att sedan länge utfasade skumsorter kunnat ge förhöjda halter av svårnedbrytbara ämnen hos brandmän (Kärrman, 2016).

De flesta tillsatsämnen, i synnerhet salter, gör vatten mer elektriskt ledande, varför samma försiktighetsåtgärder som vid vattensläckning måste iakttas vid arbete nära strömförande anläggningar. Den elektriska ledningsförmågan för skum minskar dock ju högre skumtalet är.

Vid mycket stora vätskebränder, särskilt i polära vätskor som inte producerar så mycket sot som skymmer strålningen, är brandens strålningsvärme ett problem. Den intensiva strålningen är dessutom svår att återskapa i övningssituationer. Strålningen innebär att ordentlig skyddsutrustning krävs, samt att vissa typer av bränder inledningsvis måste släckas från håll. Ett alternativ till extra skyddsklädsel är att strålförare arbetar parvis, där den ene använder ett tung- eller mellanskumrör för att bekämpa branden och den andre ett dimstrålrör för att skydda sig och parkamraten med vattendimma. Vattenstrålen får dock inte användas så att den slår sönder skumtäckets. Avstånd är annars det enklaste sättet att minska strålningsvärmerna, som ju avtar med kvadraten på avståndet. Vid bränder med intensiv strålning är därför god kastlängd väsentlig i inledningsskedet.



3.43 Oljebränder ger ofta kraftig strålningsvärme.



3.44 Är detta ett sätt att förbättra skyddsklädselns förmåga att motstå strålning eller har skumkanonens operatör siktat fel? Andningsskydd eller åtminstone visir behövs vid skumsläckning.



3.45 Brandman efter insats i lättskum.

Om ytan till utläckt brandfarlig vätska är täckt med skum innebär det inte att platsen är säker. Även under den fortsatta insatsen krävs att det finns beredskap, om antändning skulle ske. En reservplan bör finnas, i synnerhet om arbete ska utföras inne i området som täcks av bränslespill. Det finns även andra aspekter att ta hänsyn till, exempelvis om ämnet är så giftigt att det kräver en kemdykarinsats eller om arbetet ger ökad risk för fall- eller halkolyckor.

Vid släckinsatser mot bränder i brännbara vätskor måste hänsyn tas till risken för explosioner i tankar och tryckkärl.

Efter antändning kommer bränsleytan att värmas upp till bränslets kokpunkt. Denna uppvärmning fortskrider nedåt i bränslet och en hetzon bildas. Hetzonen omfattar den del av bränslet som är varmare än 100 °C och den kan därmed uppträda vid bränder i cisterner där kokpunkten hos bränslet är högre än vattnets kokpunkt, framförallt tjockolja. Om släckmedel förs in underifrån utan slang kommer vattnet i skummet att börja koka när det kommer in i hetzonen. Det förångas och kan dra med sig bränsle på sin väg upp i luften. Detta kallas slop over och innebär att brinnande bränsle skvätter omkring cisternen. Ofta finns en del vatten på botten av cisternen och ytterligare vatten tillförs under släckningsinsatsen. När värmevågen närmar sig botten av cisternen kommer bottenvattnet så småningom att börja koka. Det förångade vattnet bubblar uppåt och drar med sig brinnande bränsle när det lämnar cisternen. Fenomenet kallas boil over och innebär att stora mängder bränsle kastas kring cisternen, en uppenbar fara för insatsstyrkan.

Att fylla ett utrymme med lättskum innan utrymningen är klar innebär att utrymningen hindras och att andningen försvåras. Detta är särskilt viktigt att tänka på om lättskum används i fasta släcksystem. Personer som blivit instängda i lättskum och förlorat orienteringsförmågan har svårt att utrymma. Strategiskt placerade ledstänger kan då underlätta något.

Risken för skada i samband med andning i lättskum är ofullständigt utredd. Försök har gjorts med detergentskum vid skumtal högre än cirka 600–700, med längre exponeringstider. Skummet hade då framställts med luft. Andningen underlättas genom att man rör handen fram och tillbaka framför ansiktet och bryter ned skummet.

Vid räddningstjänstens insatser i skumfyllda lokaler är andningsskydd självklart. Sikten kommer att vara obefintlig och skummet kommer att släcka ut de flesta ljud. Detta måste de som genomför insatsen vara medvetna om och utrusta sig därefter. Eftersom orienteringsförmågan är dålig bör lina användas, om en insats i skummet över huvud taget måste göras. Om möjligt bör inträngning göras först när skumtäckets brutits ned. Lättskum leder elektricitet dåligt, och möjligen är den största risken direktkontakt med strömförande detaljer på grund av dålig sikt. Därför är det en fördel att kunna bryta strömmen innan personal går in i ett lättskumfyllt rum med elektrisk utrustning.

Miljöskador av tillsatsmedel

Utifrån räddningstjänstens ansvar som verksamhetsutövare enligt miljöbalken måste miljöpåverkan hos de tillsatsmedel som används ingå som en del i beslutsunderlaget redan vid upphandling av tillsatsmedel. Och vidare vid övning och användning i skarpa situationer. (Svensson & Eskilsson, 2011)

Ett problem är att tillsatserna sällan består av ett enskilt ämne utan av en blandning som ingen annan än tillverkaren känner till innehållet i. Tillverkaren får därmed ett stort ansvar när det gäller att tala om hur produkten påverkar miljön. Framförallt är det ämnenas giftighet, nedbrytningshastighet och bioackumulering som är intressanta.

Efter en brand i Hamre där A- och B-skum använts tillsammans med stora volymer vatten som förorenade intilliggande dricksvattenbrunn med svårnedbrytbara fluorföreningar konstaterar Miljööverdomstolen att kommunen med dess räddningstjänst är verksamhetsutövare för släckinsatsen och därmed ansvarig ur ett miljöperspektiv (MÖD 2019).

Många klass A-tillsatser och skumvätskor sänker ytspänningen och är därför giftiga för vattenlevande organismer. Även om inblandningen är liten kan den ge stor påverkan. Så liten inblandning som 0,1 % ytspänningssänkande medel – lika många kubikmeter vatten som liter tillsatsmedel – ger en radikal sänkning av vattnets ytspänning. Det skulle alltså gå åt enorma mängder vatten för utspädning för att undvika akuttoxiska effekter. Då är det bättre att samla ihop och ta hand om släckmedlet.

Giftigheten kan anges med vätskans LC_{50} -värde eller EC_{50} -värde (Lethal/Effective concentration – 50 %) som talar om vid vilken koncentration hälften av försöksdjuren dör respektive påverkas inom en viss tid i en specifik försöksuppställning. Ju högre värde, desto mindre giftighet. Det är stor skillnad mellan olika ämnen: en undersökning visade $LC_{50}(48h)$ -värden för skumvätskor som varierade mellan 0,34 och 0,0010 % inblandning. Det finns även tillsatsmedel som inte är akuttoxiska. Vissa tillsatsmedel innehåller snarare näringsämnen än gifter. Där olika skumsorter hade $EC_{50}(15min)$ -värden om 0,02 till 0,1 % i test med en viss bakterie hade ett saltbaserat tillsatsämne ett värde om 21 % (Kärrman, 2016). Här har tillverkaren ett ansvar att tala om i vilken mån deras produkter är toxiska. Och användaren har ansvar att ta reda på det.

Huvudkomponenterna i både protein- och tensidbaserade skumvätskor är normalt biologiskt nedbrytbara. Tensider används i stora mängder i samhället, exempelvis i tvätt- och diskmedel, och reningsverken är konstruerade för detta. Större släckinsatser kan dock leda till att reningsverkets kapacitet överskrids och då krävs någon form av buffert. Skumvätskor innehåller dessutom en mängd tillsatsmedel, exempelvis olika salter, vilka ger olika miljöpåverkan.

De flesta skumvätskor bryts ner relativt snabbt, åtminstone vid 20–25 °C, där de flesta nedbrytningstester görs. Det tar omkring en månad, och kortare tid om vattnet luftas (Holm & Solyom, 1995). Nedbrytningen sker i en naturlig process av mikroorganismer som livnär sig på olika föroreningar. För nedbrytning av exempelvis glykoler och glykoletrar åtgår syre. Syreförbrukningen kan mätas och utgör ett mått på hur svårt ämnet är att bryta ner. COD, Chemical Oxygen Demand, och BOD, Biochemical Oxygen Demand, är de mått som används. COD anger den totala syreåtgången och bör vara så lågt som möjligt. BOD kan uttryckas som syrekonsumtion per tidsenhet och blir därmed mindre än COD.

Men det är inte säkert att allt skum hamnar i något reningsverk. Det är dessutom inte sommarvärme hela året. En del hamnar i dagvattennät eller infiltrerar direkt i marken. Här är både temperaturen och syrehalten lägre. Då blir nedbrytningshastigheten mycket längre och miljöproblemet större.

För svårnedbrytbara ämnen spelar det ingen roll hur mycket de späds ut. Den totala mängden är ju lika stor, oavsett utspädning. Värst är PBT-ämnena: persistenta, bioackumulerande och toxiska ämnen. Bioackumulering kan ske av ämnen som inte bryts ner. De finns då kvar och lagras i miljön. Även vid låga koncentrationer av dessa ämnen kan de utgöra ett reellt problem, eftersom de finns kvar i det biologiska systemet under mycket lång tid och ansamlas i näringskedjan.

Fluortensider som gör skumvätskor filmbildande och andra komplexa kolväten som innehåller heteroatomer är ofta både svårnedbrytbara och giftiga i relativt låga koncentrationer. Dessa två egenskaper i kombination har ställt till stora miljöproblem med grundvattnet framförallt nedströms brandövningsplatser (Holm & Solyom, 1995). Skumvätskor med fluortensider har därför tagits bort från marknaden, först ämnen som innehåller PFOS och senare PFAS (Rochna, 2000) och lagstiftningen håller på att arbeta ikapp (Kemikalieinspektionen, 2016). Att ämnen är tillåtna att sälja och använda innebär dock inte att de är opproblematiskska och hela gruppen av fluorinnehållande skumvätskor kan ifrågasättas. De seriösa aktörerna i branschen har därför i princip helt gått över till fluorfria skumvätskor.

Ytterligare en egenskap hos skumvätskorna är att de i många fall kan påverka andra ämnen. Exempelvis kan tensidbaserade skumvätskor lösa upp olja till en emulsion som inte går att skilja av med en oljeavskiljare. Emulsionen är dessutom mer giftig mot vattenlevande organismer än oljeprodukterna och skumvätskan var för sig (Holm m.fl., 1996). Vissa proteinbaserade skumvätskor och särskilda övningskumvätskor löser dock olja i mindre omfattning (Holm & Solyom, 1995). Tillverkaren bör kunna ge upplysningar om påverkan på oljeavskiljare. Denna effekt är inte odelat negativ. Att skum löser exempelvis organiska föreningar innebär också att mängden carcinogena kolväten i brandgaserna kan bli mindre vid användning av exempelvis CAF med klass A-skum jämfört med rent vatten vid invändig brandsläckning (Baum, 2019).

Vid fasta anläggningar och vid övningsanläggningar ska kontaminerat släckvatten alltid samlas upp och tas om hand. Även räddningstjänstens övriga insatser bör planeras för att skapa möjlighet att samla upp kontaminerat släckvatten. Detta är en självklarhet i de fall insatsen gjorts mot en brand

i exempelvis brännbar vätska, eftersom bränslet i sig ju innebär ett miljöproblem. Lokaliseringen av en skadeplats behöver vägas in i valet av släckmetod, exempelvis hotade miljövärden, dricksvattentäkter med mera.

Samtidigt finns goda möjligheter att minimera miljöpåverkan från släckinsatser genom att se till att insatsen är väldimensionerad och genomförs riktigt. Då kan åtgången av tillsatsmedel mycket väl bli hälften av vad en illa genomförd insats skulle kräva. I vissa fall blir den totala skadan minst genom att en släckinsats med tillsatsmedel i släckvattnet förhindrar stora utsläpp av förbränningsprodukter. I andra fall kan den sammanlagda skadan på människa, egendom och i miljön bli minst om exempelvis en brinnande tankbil inte släcks alls.

Sommaren 2018 fick en tankbil med 17 m³ bensin varmgång i ett hjul med efterföljande brand. Branden inträffar på en grusås mitt i ett vattenskyddsområde, 2 km från vattenverket. En snabb initial släckning var inte möjlig, så räddningsstyrkan backar och låter tankbilen brinna ut helt. Fokus blir i stället på samverkan med ett miljöperspektiv. Fyra timmar efter larm har intensiteten minskat så mycket att man kan börja schakta bort förorenade jordmassor, drygt trehundra ton. Och vägen kan öppnas igen samma dag. Trafikförsäkringen stod för kostnaden för schaktning, deponi och återställning av väg (Sjöström, 2019).

Egendomsskador av tillsatsämnen

Egendomsskadorna vid användning av tillsatsämnen är ofta kopplade till mängden vatten som används. Tillsatsmedel ger ofta mindre vattenförbrukning och kan därmed ge mindre vattenskador, även om tillsatsämnena i sig kan leda till ett saneringsbehov. Skadorna ökar med ökad påföringsmängd och exponeringstid. För skum blir skadorna mindre med ökat skumtal. Lättskum ger i allmänhet begränsade egendomsskador. Skummet har dålig inträngningsförmåga, vilket innebär att en spalt på några centimeter räcker för att förhindra skummets utbredning vid höga skumtal och låg fyllnadshöjd. Det innebär också att lättskum inte tränger in i elektronikskåp, emballage med mera. Torkringar uppkommer dock på exempelvis tyger och korrosion på oskyddade järndetaljer. Det möter inga större hinder att sanera oskyddad utrustning. Det är också värt att notera att användning av lättskum kan minska rökskadorna.

Tillsatsämnen kan också ge skador på släckutrustningen. Saltlösningar ger ofta mer korrosion än rent vatten. Rester från skumvätska kan ge tvålavlagringar i slang, doseringsutrustning och munstycken samt kan orsaka korrosion på metalledar. Ordentlig rengöring av all utrustning krävs därför efter en insats där tillsatser använts, i synnerhet skum och framförallt av doseringsutrustning och skumrör/strålrör.

Vid en villabrand i Burseryd konstaterade första styrkan på plats att branden redan spridit sig in i bjälklag och mellanväggar. Villan fylldes med lättskum och skumnivån hölls uppe vid taknocken i ett halvt dygn. Villan blev totalförstörd på grund av bränderna i konstruktionen. Där emot var nästan allt med affektionsvärde, som smycken, konstföremål och till och med fotoalbum, i stort sett oskadade (Karlsson, 2001).

Risken för oavsiktlig aktivering måste tas med i beräkningen vid installation av fasta släcksystem. Vid en helikopterhangar råkade ett detektorstyrt skumspinklersystem med gruppupplösning aktiveras av ett blixtnedslag. Personalen på plats hade oklara instruktioner och visste inte vad de skulle göra när systemet aktiverades. Det ledde till att systemet gick i 20 minuter och att 10 m³ skumvätska spolades ut med omfattande saneringskostnader som följde. Efter händelsen försågs anläggningen med tvådetektorberoende aktivering.

Kapitel 4

Pulver

Pulver är det släckmedel som i första hand rekommenderas till handbrandsläckare. Det beror framförallt på släckkapacitet i förhållande till vikt och pris.

4.1 De vanligaste egenskaperna hos några pulversorter. Sorterna är ungefärligt rangordnade med de mest effektiva mot B-bränder först. (Brandsläckningspulver, 1998; CRC, sid B-68-, 1986; Holmstedt m.fl. 1984).

Fysikaliska egenskaper

Det finns ett antal olika pulversorter på marknaden. Inom begreppet pulver ingår nämligen alla släckmedel i fast form. Oftast består pulver för brandsläckning av blandningar av olika salter. De flesta är välkända kemikalier som förekommer i stor mängd inom industrin. Salterna är normalt uppbyggda av en

Namn	Kemisk beteckning	Pulvertyp	Smältpunkt [°C]	Kokpunkt [°C]
Dikaliumkarbonat + urea	$K_2CO_3 + \text{urea}$	BC		
Kaliumklorid	KCl	BC	770	1 500 (sublimerar)
Kaliumvätekarbonat	$KHCO_3$	BC	100–200 (sönderfaller)	
Ammoniumdivätefosfat	$NH_4H_2PO_4$	ABC	190	
Dikaliumkarbonat	K_2CO_3	BC	891	(sönderfaller)
Natriumklorid	NaCl	BC	801	1 413
Dikaliumsulfat	K_2SO_4	BC	1 069	1 689
Natriumvätekarbonat	$NaHCO_3$	BC	270 (sönderfaller)	
Diammoniumsulfat	$(NH_4)_2 SO_4$	ABC	235 (sönderfaller)	
Kalciumkarbonat	$CaCO_3$	BC	900 (sönderfaller)	

positiv jon av natrium, kalium eller ammonium i kombination med en negativ jon av klorid, sulfat, vätekarbonat eller divätefosfat. Det innebär att det finns ett stort antal möjliga salter, men deras effekt på bränder är sällan särskilt väl redovisade. Den vanligaste pulversorten är ammoniumdivätefosfat.

Densiteten varierar något mellan olika pulversorter, men är normalt ca 1000 kg/m^3 (Släckmedel pulver, 1999). Kompaktdensiteten är upp mot 1900 kg/m^3 (Holmstedt m.fl. 1984).

De flesta pulversorter är känsliga för fukt. Fuktskyddsmedel är därför ofta tillsatt, exempelvis i form av silikon eller magnesiumstearat. Andra tillsatsämnen kan vara exempelvis kiseldioxid, talk, glimmer och bariumsulfat, även om den aktiva beståndsdelen i ett ABC-pulver normalt uppgår till mer än 85 % (Holmstedt m.fl. 1984).

En sorts pulver, natriumvätekarbonat, är huvudbeståndsdelen i bakpulver. En annan sort, natriumklorid, kallas till vardags för bordssalt.

Lagring och transport

Vissa pulversorter är temperaturkänsliga, framförallt de ammoniumbaserade pulversorterna som börjar sönderdelas vid temperaturer över ca 60°C . Det är därför viktigt att pulvret lagras så att det skyddas mot fukt och variationer i temperatur. Å andra sidan är pulver den släckmedelstyp som är minst känslig för frost och kan användas utomhus även vintertid. Pulveraggregat kan användas vid alla temperaturer som operatören klarar av.

De pulversorter som används som släckmedel är så finmalda att de är lättflytande. De är dessutom ytbehandlade med ett vattenavstötande medel, vilket gör att de utan problem kan transporteras i slangar och rörledningar.

Pulver används normalt i två sammanhang, dels i handbrandsläckare med några kg släckmedel, dels i pulveraggregat om upp till några hundra kg pulver. Pulveraggregat är, beroende på storlek, utrustade med en eller två munstycken. De mindre aggregaten är upphängda på en enkel transportkärra och kan hanteras utan problem av en person. De största väger 600–700 kg och är monterade på släpkärra eller fordon. De sistnämnda kan vara utrustade med en pulverkanon.

Funktionsprincipen är densamma oavsett typ av system. Förvaringskärlet är antingen trycksatt eller trycksätts i sam-

4.2 Pulveraggregat har använts många decennier och är den förmodligen mest effektiva släckresurs som räddningstjänsten har tillgång till.



band med användning. För utdrivning används exempelvis luft, kvävgas eller koldioxid. För större aggregat används oftast en tryckregulator för att ge ett jämnt flöde under tömningen.

Som andra pulversläckare behöver även pulveraggregat kontinuerlig tillsyn, årlig översyn och revisionsbesiktning, enligt tillverkarens kontrollprogram och reglerna för tryckkärl.

Vibrationer kan medföra att pulvret packas samman under transport. Detta undviks genom att aggregatet trycksätts genom att gas tillförs från botten. Annars måste pulvret luckras upp genom att behållaren skakas.

Fyllning av pulveraggregat kräver särskild kunskap och att tillverkarens rekommendationer följs. Vid fyllning bör endast vacuumsugande fyllningsmaskin användas. Om pulvret hålls finns nämligen risk att storleksfördelningen hos pulverkornen förändras.

Pulver av olika sort bör inte blandas. Blandning av natriumvätekarbonat och ammoniumdivätefosfat ger till exempel en kemisk reaktion där natriumdivätefosfat bildas, tillsammans med vatten, ammoniak och koldioxid. Vattnet gör att pulvret hårdnar likt cement och de båda gaserna gör att trycket ökar i behållaren.

Påföring av pulver

Utformningen av utrustningen och dess munstycke styrs av två delvis motstridiga parametrar: kastlängd respektive spridning. En stråle som är för bred riskerar att inte nå fram till brandhärden. En smal stråle med lång kastlängd kanske å andra sidan inte täcker in brandhärden. Munstyckets utformning varierar därför, men i regel är kastlängden begränsad. Samtidigt är rörelseenergin normalt så hög att bränsle skvätter omkring och branden förvärras om strålen riktas ner i en pöl av brinnande vätska.

Vid kraftig värmestrålning kan strålföraren blåsa ett pulvermoln framför sig som absorberar strålningen. Pulverstrålen riktas mot lågornas bas och förs med långsamma svep över brandens yta. Branden angrips med vinden i ryggen och ett uppföljande angrepp med vatten eller skum måste vara förberett och dras igång samtidigt. En insats med pulver mot en större brand måste därför vara väl planerad. Dessutom är tömningstiden relativt kort, för en pulversläckare mindre än en minut vid kontinuerlig drift.

Vid användning utomhus är det viktigt att komma ihåg att pulver är vindkänsligt. Ett snabbt sätt att få reda på vindriktningen är genom att släppa ut en puff av pulver från en pulversläckare rakt uppåt. Pulvret är så finmalet att det direkt fångas av vinden.

Vid användning inomhus är problemet snarare att komma nära branden. Ett sätt att angripa en större rumsbrand i ett slutet utrymme är att borra ett litet hål genom en fönsterkarm och påföra pulvret med en lans, på motsvarande sätt som med dimspik för vatten. Lansen kopplas med snabbkoppling till en vanlig handbrandsläckare.

Efter användning behöver systemet blåsas rent. Det görs genom att behållaren vänds så att stigröret för pulver kommer över pulverytan. Därefter öppnas munstycket och hålls öppet tills inget pulver längre kommer ut. Efter användning måste aggregatet laddas om, även om endast en del av pulvret förbrukats. Detta görs efter tillverkarens anvisningar. Det handlar till exempel om montering av fuktmembran och att påfyllningen av pulver ska göras genom silduk för att förhindra att främmande partiklar följer med.



4.3 Pulverlansen används ungefär som en dimspik.

Användningsområden för pulver

Pulver är den släckmedelstyp som har den största släckkapaciteten per vikt. Det är väl värt att understryka att ett pulveraggregat är den i de flesta fall mest effektiva släckresurs som räddningstjänsten har till sitt förfogande. Om rätt sorts pulver väljs, kan det dessutom användas mot de flesta typer av bränder. Systemen har emellertid en begränsad aktionstid och kan därmed inte användas för kontinuerlig drift under längre tider. Pulver har därför sitt bästa användningsområde vid förstainsatsen för att slå ner bränder, för att sedan följas av exempelvis vatten eller skum.

Pulver medger en insats som är snabbare än många andra system. Det kan finnas möjlighet att ingripa med handbrandsläckare med pulver innan röktätheten kräver en traditionell rökdykarinsats. Pulver som förstahandsinsats vid exempelvis lägenhetsbränder blir därmed ett intressant koncept. (Johansson & Mårtensson, 1986; AFS 2007:7)

Även om insatsen följs av andra släckmedel, ger ett ABC-pulver bättre återantändningsskydd än ett BC-pulver vid bränder i fibrösa material och bör väljas i första hand. BC-pulver är inte lämpliga mot bränder i fibrösa material, då återantändningsskydd saknas. De verkar endast i gasfasen och förmår inte påverka bränsleytans pyrolys.

Pulver är inte elektriskt ledande och går därför bra att använda vid bränder i elektriska installationer. Beröringsrisken är då dimensionerande. Dock kan saneringsaspekter ge en annan rekommendation. Det är därför lämpligt att undvika pulver i ställverksanläggningar inomhus, eller andra anläggningar som innehåller reläer och annan smutskänslig utrustning. (Brandförsvar vid elanläggningar, 1987)

Vid trafikolyckor är en pulversläckare ofta lämplig för att snabbt och inledningsvis säkra en liten olycksplats mot brand. Detta gäller dock inte om det finns utspilt bränsle eller andra brännbara vätskor. En pulversläckare förhindrar ju inte antändning, utan används för att släcka redan utbruten brand. Renspolning eller övertäckning förhindrar i stället att branden över huvud taget bryter ut. Detta gäller i synnerhet om det av någon anledning är förhöjd syrehalt på skadeplatsen, till exempel beroende på behandling av skadade.



4.4 En pulversläckare har god släckeffekt, men sikten blir dålig.

Pulver går även att använda i fasta släcksystem, till exempel i större lastmaskiner. Pulvrets kombination av god släckeffekt och frosttålighet är tungt vägande fördelar.

Släckverkan

Släckverkan hos BC-pulver liknar den hos gasformiga släckmedel, fast pulverkornen så småningom faller till marken. Släckeffekten är termisk: en barlast förs in i flamman som gör att branden inte orkar upprätthålla en tillräckligt hög temperatur och förbränningshastigheten minskar. Olika ämnen pulversorter kan ta upp olika mycket värme och är därför mer eller mindre effektiva. Att släckverkan handlar om värmeupptagningsförmåga innebär att pulver kan göras mer effektivt genom att ändra dess förmåga att ta upp värme. Ett pulver med matt svart yta absorberar värme bättre än ett med blank vit yta och släcker därför i princip bättre (Larsson, 2018).

Metallbrandspulver

Släckmedel mot brand i metaller är oftast pulverformiga. Ämnen med hög smältpunkt och som inte sönderfaller, till exempel torr sand och cementpulver är användbara till detta ändamål. Även natriumklorid, vanligt koksalt, kan vara användbart. Särskilda metallbrandpulver täcker brandhärden och släcker därmed samtidigt som återantändning förhindras. Endast pulver avsedda för klass D-bränder är användbara för metallbränder. Det finns annars risk för en kemisk reaktion mellan pulvret och metallen. Torr sand är i många fall det släckmedel som är enklast att snabbt få fram i tillräcklig mängd.

Vid släckning av metallbränder måste påföringen göras försiktigt. Skyffel kan vara ett lämpligt redskap om särskilt aggregat för ändamålet saknas. Brandsläckare för metallbränder har speciell utformning så att hastigheten hos släckmedlet inte blir för hög.

Vid metallbrand krävs stor mängd släckmedel, ungefär lika stor som mängden brinnande metall. Å andra sidan finns i stort sett inte något annat alternativ, bortsett från att låta metallen brinna ut. (Handbrandsläckare, 1998)



4.5 Lätt släckutrustning bestående av sand och skyffel, använd under andra världskriget.

Ju mer finmalet pulvret är, desto större yta får pulverkornen i förhållande till sin massa. De exponeras bättre för flammor och mer värme kan överföras till kornet innan det passerat genom flammorna. Släckeffekten i gasfasen blir då bättre. Om pulverkornets diameter halveras får samma pulvermassa en kornyta som är dubbelt så stor. I princip minskar därför pulveråtgången linjärt med diametern.

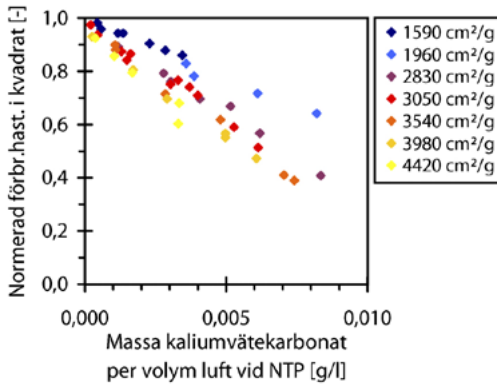
Vissa pulversorter sönderdelas kemiskt vid värmepåverkan, exempelvis tillsats av urea till dikaliumkarbonat som gör att pulverkornen sprängs vid upphettning. Koldioxid frigörs men mängden är inte tillräcklig för att förklara släckverkan. Förklaringen är att släckförmågan ökar eftersom den exponerade pulverytan blir större. Övriga ämnen efter sönderfallet, exempelvis natriumhydroxid, smälter och förångas och till detta åtgår ytterligare energi.

Pulver är alltid extremt finmalet. Ett exempel är pulver med 0,35 mm som största korndiameter, där pulverkornens yta normalt är i storleksordningen $0,3 \text{ m}^2$ per gram. Samtidigt är inte storleken homogen utan varierar mellan cirka 0,005 och 0,080 mm. Är pulvret för finmalet sker nämligen samma sak som hos vattendimma: rörelsemängden blir liten och kastlängden kort. Tillsats av större korn som drar med sig de mindre kan ge strålen önskad kastlängd (Brandsläckningspulver, 1998).

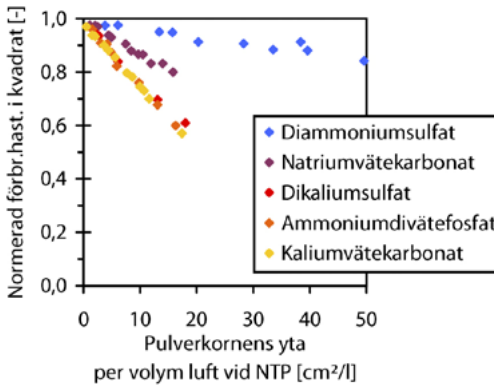
Även om pulverkornen är små är de fortfarande så stora att släckmekanismen nästan enbart är fysikalisk. Släckeffekten ökar markant om pulverkornens storlek understiger 0,03 mm. Här finns förklaringen till varför pyrotekniskt genererade aerosoler är mer effektiva än samma ämnen i pulverform. Enstaka pulversorter kan även ha en mätbar kemisk effekt, genom inhibition.

ABC-pulver har ytterligare en släckmekanism. Deras smält-punkt ligger under temperaturen för en brinnande yta, alltså lägre än cirka 300°C . Pulverkorn som träffar ytan smälter, flyter ut och bildar ett sammanhängande vätskeskikt. Det kyler ytan och hindrar värmeutbyte, vilket gör att produktionen av pyrolysgaser minskar, på samma sätt som när en yta kyla med vatten.

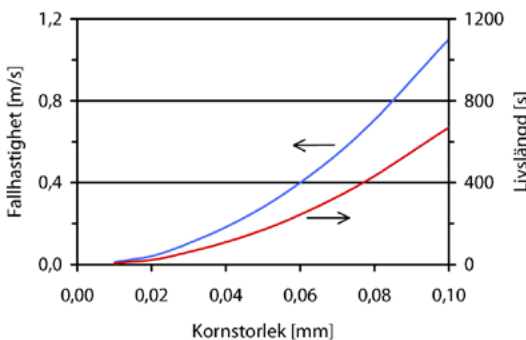
Olika pulverblandningar är olika effektiva. För ABC-pulver brukar därför halten ammoniumdiväte-fosfat anges. Det är den mest effektiva beståndsdelen, men också den dyraste.



4.6 Kaliumvätekarbonats släckeffekt på den normerade förbränningshastigheten (förhållandet mellan förbränningshastigheten i kvadrat med pulver V_p delat med hastigheten utan pulver i kvadrat) för stökiometrisk blandning av metan och luft (enligt Hoffman).



4.7 Olika pulvers effekt på flammhastigheten för stökiometrisk blandning av metan och luft. NTP innebär normal temperatur och normalt tryck (enligt Hoffman).

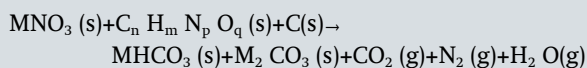


4.8 Beräknad fallhastighet och livslängd i flamma hos korn av NaCl. Beräkningarna följer samma mönster som vid uppvärmning och förångning av vattendroppar. (efter Holmstedt m.fl., 1984)

Aerosoler

Pyrotekniskt genererade aerosoler, PGA, används sedan början på 2000-talet som släckgranater eller i fasta släcksystem för mindre teknikutrymmen eller fordon av olika slag. Internationellt kallas de Aerosol Forming Compositions, AFC. Aerosol innebär en blandning av gas och partiklar, antingen i vätskeform eller fasta. Partiklarna är 10–100 gånger mindre än motsvarande pulverkorn och är så små att de hålls svävande i luften. Släckmedlet beter sig som ett gasformigt släckmedel och är därför lämpligt endast i slutna utrymmen. Systemet designas med en släckkoncentration om 30–200 g/m³. Släckeffekten är alltså några gånger bättre än för pulver. Vid manuell användning aktiveras släckgranaten och kastas sedan in i det brinnande utrymmet så nära branden som möjligt. Dörren stängs sedan.

Kemiskt är aerosolernas sammansättning ungefär samma som för vanliga pulverformiga släckmedel men aerosolen skapas vid aktivering när specialdesignade pyrotekniska blandningar reagerar. Reaktionen startas manuellt (mekaniskt) eller elektriskt. De två huvudingredienserna i blandningen är ett oxidationsämne och ett bränsle. Blandningen hålls ihop av ett bindemedel, också det bränsle. Olika tekniska tillsatser ger bland annat en kontrollerad och lagom snabb reaktionshastighet och gör ämnet lagringsbeständigt. En generell formel för bildningen av aerosoler kan skrivas



M är en positiv jon, exempelvis Na, K, Mg, Ca, Sr eller Al. Vanligast är kaliumnitrat och strontiumnitrat som oxidationsämne, men det finns mängder av möjliga kombinationer. Parenteserna anger om ämnet är i fast form (s, solid) eller gasform (g). Reaktionsprodukterna har mycket hög temperatur när de produceras och måste passera en kylare innan de lämnar aerosolgeneratoren. Fortfarande är dock temperaturen så hög att den faktiskt kan orsaka antändning.

Aerosolpartiklarna är extremt små och har därför stor yta i förhållande till sin volym. Det ger en mycket stor släckkapacitet i förhållande till mängden släckmedel. De kan absorbera mycket värme vilket förklarar huvuddelen av släckverkan. En inhibitionseffekt kan tillkomma på samma sätt som för halon: exempelvis kalium blir radikalbindande när ämnena förångats så mycket att de börjar uppträda som separata molekyler.

Detta till skillnad från traditionella pulver, där pulverkornen är så stora att släckverkan endast blir genom värmeupptagning.

Aerosolerna ger motsvarande egendomsskador som pulver, med skillnaden att mängden är mindre men att partiklarna i gengäld tränger in lättare i små utrymmen. Flertalet ämnen är inte direkt giftiga, men aerosolpartiklarna är så små att de följer med luftströmmen långt ner i lungorna. Det innebär en risk för personer som vistas i utrymmet utan andningsskydd (Rohilla m.fl., 2019).

Påföringsmängd

Erforderlig pulvermängd beror framförallt på pulvrets sammansättning och pulverkornens storlek. Urea-K-pulver är effektivare än natriumpulver och kräver därmed betydligt mindre mängd släckmedel för samma brand.

För att släcka en brand i en 4 m² pöl med bensin går det åt ungefär 8–10 kg natriumvätekarbonat, kaliumklorid eller kaliumsulfat, 5–6 kg kaliumvätekarbonat eller ammoniumdivätefosfat eller 4–5 kg urea-kaliumvätekarbonat.

	Heptan	Xylen	MTBE,*
Urea-K	0,47	<0,57	<0,48
K	0,56	<0,61	<0,51
AB	0,66	0,56	0,42
Na	<1,42	0,61	0,38
CO ₂	3,5	3,8	2,9

* metyltertiärbutyleter

4.9 Experimentellt uppmätt mängd släckmedel som åtgår per mängd bränsle [g/g] (REMP-värde) för olika kombinationer av pulver och bränslen. Koldioxid finns med som jämförelse.

Pulvers begränsningar

Det finmalda pulvret är effektivt för brandsläckning, men ger också ett fint damm som begränsar lämpligheten i att använda pulver.

Personskador

Vid släckning med pulver kommer brandgaserna att röras om, vilket tillsammans med pulvermolnet i sig innebär att sikten kommer att försämrast avsevärt.

De ämnen som ingår i brandsläckningspulver är annars normalt inte hälsovådliga. Framförallt är det damm vid hanteringen som kan ge irritation i luftvägarna. Vid släckning med pulver kan tillfälliga andningssvårigheter uppträda om alltför stor mängd pulver andats in. Vid användning av större aggregat bör andningsskydd användas, i synnerhet som också brandens storlek och produktion av brandgaser kräver det.

I utrymmen där pulver har använts, antingen för brandsläckningsändamål eller av våda, kan problem med torr luft uppstå. En omfattande sanering krävs därför.

Pulvers miljöpåverkan

Då pulver uppträder i fast fas är släckmedlet inte särskilt rörligt i miljön. Pulver hjälper därmed inte till att sprida föroreningar till vatten eller luft. Detta är en skillnad mot de vätskebaserade släckmedlen, exempelvis vatten och skum.

Pulver består av blandningar av olika mer eller mindre vanligt förekommande salter. Vissa pulversorter är besläktade med gödningsmedel. Negativ miljöpåverkan blir därmed begränsad för de flesta pulversorter, i synnerhet i de små mängder som normalt används. Vid en brandövningsplats blir volymen större, liksom nedsmutsningen.

Egendomsskador av pulver

Nedsmutsning av känsliga miljöer är kanske den vanligaste invändningen mot att använda pulver vid brandsläckning. Exempel är tillverknings- och processindustri, datorhallar och kultur- eller konsthistoriska miljöer. Pulvret är finmalet och skapar ett fint damm som sprider sig i hela brandrummet och som tränger in i stort sett överallt. Denna skada är vid verklig

brand ofta acceptabel, då brandgaser ändå orsakat skador som kräver sanering. Däremot uppstår samma skador vid vådautlösning av pulversläckare eller -aggregat, vilka är svårare att motivera för den drabbade.

Sanering efter pulveranvändning inomhus bör påbörjas så snart som möjligt. Salterna i pulvret, tillsammans med fukt från branden och släckinsatsen samt den fukt som normalt finns i luften, kan orsaka korrosion i exempelvis maskiner. Börja med att sopa upp åtkomligt pulver, dammsug därefter och avsluta med våttorkning eller sköljning i vatten. Vid dammsugning tränger pulverkornen tyvärr igenom filter och kan skada motorn. Därför bör så mycket som möjligt sopas upp först och dammsugaren bör ha ett specialfilter.



4.10 Nedsmutsning är det stora problemet vid brandsläckning med pulver. Här har pulver använts för att släcka en brinnande soptunna.

Kapitel 5

Gasformiga släckmedel

Ett släckmedel räknas som gasformigt om kokpunkten vid atmosfärstryck är under rumstemperatur. Hit hör några vanliga ämnen som kväve, koldioxid, och argon samt ett antal halogenerade kolväten och blandningar mellan dem. Vissa av gaserna marknadsförs under olika handelsnamn. De flesta av gaserna är både färg- och luktlösa. Koldioxid har en svagt stickande lukt.

Det finns ganska mycket litteratur inom området gasformiga släckmedel. Det beror på att gasformiga släckmedel är vanliga i fasta släcksystem och att mycket arbete har lagts ner på att hitta alternativ till halon som avvecklas av miljöskäl. Se t.ex. Isaksson m.fl. (1997).

Namnet halon är en förkortning av engelskans HALogenated hydrocarbON. Ett halogenerat kolväte består oftast av en kort kolkedja med väteatomerna helt eller delvis utbytta mot halogener, alltså ämnena fluor, klor, brom och jod. I vardagslag används namnet endast om de ämnen som är helt klorerade och/eller bromerade, exempelvis halon 1211 och halon 1301. Fluorerade kolväten betecknas ofta som FC-gaser. Delvis fluorerade betecknas de som HFC-gaser. Torrt vatten är produktnamnet för ett ämne som ser ut som aceton, men där väteatomerna bytts ut mot fluor. Kemiskt har det därmed vissa likheter med FC-gaserna. Skillnaden är att ämnet har en hög kokpunkt och är en vätska vid rumstemperatur och atmosfärstryck.

Rena ämnen	Handelsnamn	Kemisk beteckning
Argon	IG 01, Argotec	Ar
Halon 1211		CBrClF ₂
Halon 1301		CBrF ₃
HFC 125		CF ₃ -CHF ₂
HFC 134a		CF ₃ -CH ₂ F
HFC 227 ea	FM200	CF ₃ CHF-CF ₃
HFC 23		CHF ₃
Koldioxid	CO ₂ , Kolsyra*	CO ₂
Kväve	IG 100, Nitrogen	N ₂
Gasblandningar	Handelsnamn	Blandning
HFC Blend A	Halotron 2b	HFC125+ HFC134 + Koldioxid
IG 55	Argonit	50 % Argon, 50 % Kväve
IG 541	Inergen	52 % Kväve, 40 % Argon 8 % Koldioxid**

* avser egentligen koldioxid löst i vatten

** olika blandningar kan förekomma

5.1 Många gaser saluförs under olika namn.

För speciella ändamål kan olika typer av andra gaser användas som släckmedel, till exempel vattenånga eller förbränningsgaser. Gaser från en förbränningsmotor består av en blandning av luft, kväve, koldioxid och vattenånga, och används exempelvis inom sjöfarten för inertierte av tankar på tankfartyg. Detta användningsområde är dock relativt begränsat och här behandlas därför endast egenskaperna för de rena släckmedlen.

Försök har även gjorts att få vatten att fungera som ett gasformigt släckmedel. Detta kräver dock vattendroppar som är mindre än 0,02 mm i diameter, vilket är svårt att åstadkomma eftersom så små droppar tenderar att slå sig samman till större. Vattnet uppträder därmed som en spray snarare än som en gas. (Andersson m.fl., 1996)

Fysikaliska egenskaper

Om trycket ökas hos en gas, kommer den att pressas ihop och minska i volym. För gaser varierar densiteten kraftigt med både tryck och temperatur. Blir trycket tillräckligt högt eller temperaturen tillräckligt låg, övergår gasen i vätskefas.

Ämne	Kemisk beteckning	Molvikt [g/mol]	Frys punkt [°C]	Kokpunkt [°C]	Krit. Temp. [°C]	Krit. Tryck [MPa abs]	Gastäthet vid 20 °C 100 kPa [kg/m³]	Värme-kapacitet 20 °C [kJ/kg/K]
Kväve	N ₂	28,0	-210	-196	-147	3,39	1,17	1,04
Argon	Ar	39,9	-189	-186	-122	4,90	1,66	0,52

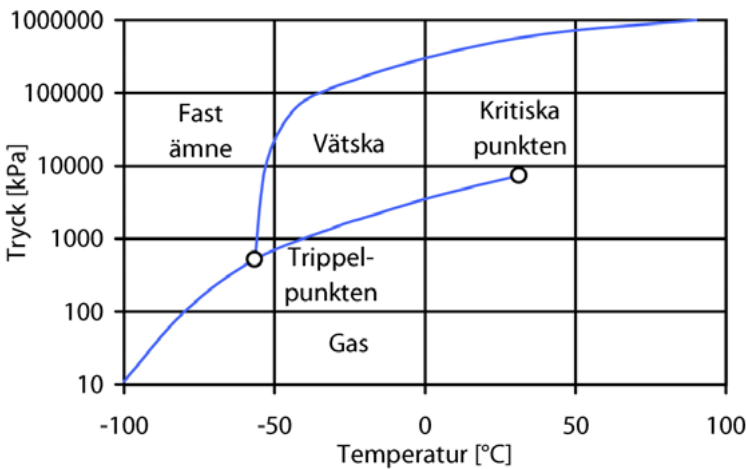
5.2 Fysikaliska egen-skaper för tryck-komprimerade gaser. (Isaksson m.fl., 1997)

Ämne	Kemisk beteckning	Molvikt [g/mol]	Frys punkt [°C]	Kokpunkt [°C]	Krit. Temp. [°C]	Krit. Tryck [MPa abs]	Ångtryck, 20 °C [MPa]	Vätskedensitet 20 °C [kg/m³]
Koldioxid	CO ₂	44,0	-78	Sublimerar	31	7,38	6,08*	720
Halon 1211	CBrClF ₂	165,4	-160,5	-4	154	4,30	0,23	1 580
Halon 1301	CBrF ₃	148,9	-168	-57,8	67	3,96	1,43	1 820
HFC 23	CHF ₃	70	-155	-82	26	4,84	4,18	807
HFC 125	CF ₃ -CHF ₂	120,0	-103	-48	66	3,60	1,21	1 219
HFC 227 ea	CF ₃ CHF-CF ₃	170	-131	-16	102	2,91	0,39	1 407
HFC 134a	CF ₃ -CH ₂ F	102	-101	-26	101	4,06	0,67**	1 209

* vid 22°C ** vid 25°C

5.3 Fysikaliska egen-skaper för tryckkonden-serade gaser. Halon 1211 och 1301 finns med som jämförelse, trots att de normalt inte är tillåtna. (Isaksson m.fl., 1997)

5.4 Fasdiagram för koldioxid (efter Hultqvist & Persson, 1960).



De gaser som har en kritisk temperatur under rumstemperatur kan tryckkomprimeras och förvaras i gasflaskor. De gaser som har en kritisk temperatur över rumstemperatur tryckkondenseras i stället till vätska i lagringsbehållaren.

Till handbrandsläckare eftersträvas ämnen med ett lågt ångtryck och med en kokpunkt som ligger klart under användningstemperaturen. Detta gjorde det numera förbjudna halon 1211 lämpligt till handbrandsläckare. Annars måste en tryckbehållare användas, som till koldioxid.

Koldioxid intar en särställning då dess kritiska temperatur är 31,3 °C och den dessutom sublimerar vid atmosfärstryck. Den övergår alltså direkt från fast fas till gasfas i stället för att först smälta och sedan koka.

För blandningar av gaser måste komponenterna studeras var för sig. De fysikaliska egenskaperna styrs ofta av den komponent som har högst fryspunkt och kokpunkt samt lägst kritiskt tryck.

Lagring och transport av gaser

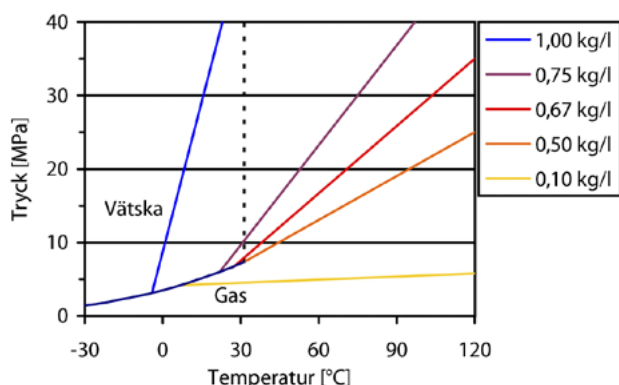
För tryckkomprimerade gaser används vanligen behållare med 10–20 MPa tryck. Detta kräver en stabil konstruktion. Därför väger i allmänhet behållaren för tryckkomprimerade gaser avsevärt mer än dess innehåll.

För tryckkondenserade gaser dimensioneras gasflaskorna efter ångtrycket vid den högsta temperatur de förväntas bli utsatta för. Vanligen väljs denna temperatur till 65 °C. Trycket är avsevärt lägre än för de tryckkomprimerade gaserna och konstruktionen kan göras enklare. I och med att gasen kondenseras till vätska, ryms även en mycket större mängd gas i behållaren än när det gäller tryckkomprimerade gaser. Mängden släckmedel i kg per lagringsvolym är därmed större.

Då ångtrycket för tryckkondenserade gaser varierar kraftigt med temperaturen tillsätts vanligtvis en drivgas, ofta kväve, för att garantera att gasen strömmar ut snabbt även vid låga temperaturer.

Små mängder koldioxid förvaras nästan alltid tryckkondenserad. Trycket i behållaren styrs av temperaturen och fyllnadsgraden. Normalt är fyllnadsgraden ca 0,7 kg/l. Med för hög fyllnadsgrad finns risk för kårspångning om temperaturen och därmed trycket skulle öka. Hur temperatur och fyllnadsgrad påverkar trycket i en kolsyrebehållare kan illustreras

5.5 Inverkan av temperatur och fyllnadsgrad på trycket i en koldioxidbehållare. Temperaturen är nära den kritiska punkten. Den allmänna gaslagen gäller då inte eftersom koldioxiden inte uppför sig som en ideal gas (efter Hultqvist & Persson, 1960).



med hjälp av diagram. Detta måste beaktas vid fyllning av alla tryckkondenserade gaser. Fylls gasflaskan för mycket riskerar den att sprängas om temperaturen blir för hög.

Gaser kan också förvaras kylkondenserade. Det innebär att gasen kyls ner under kokpunkten och övergår till vätska. Gasen måste sedan förvaras kyld, men inte i tryckbehållare. Kylkondensering är vanligt när större mängder gas ska lagras. Det beror på att det är enklare och billigare att konstruera en stor kyltank än en stor trycktank. Om större mängd gas behövs vid en släckinsats levereras den normalt kylkondenserad i tankbil eller tankvagn. Koldioxid och kvävgas är exempel på gaser som kan förvaras på detta sätt.

Påföring av gaser

Gasformiga släckmedel påförs vanligen genom munstycken som utformas efter hur släckmedlet ska användas. Tekniken är beprövad och de problem som kan uppstå härrör ofta från den kondenserade vätskans fasövergång till gas. Det största tryckfallet sker över munstycket och inte i gasbehållarens ventil eller i rörsystemet. Orsaken är att kondenserade gaser förångas när trycket minskar. Denna expansion önskas när släckmedlet lämnat systemet och kommit ut i brandrummet. I fasta installationer för rumsskydd gäller att utforma munstycken och välja rätt antal och placering, för att ge en så jämn fördelning av släckmedlet i rummet som möjligt.

Direkt efter det att ett gassläcksystem utlöst kommer vätskan att förångas under transporten i rören och kyla ned dessa.

För förångningen åtgår nämligen värme. Under de första sekunderna strömmar gas ur munstyckena. När rören är nedkyllda strömmar vätska ur systemet och förångas i kontakt med den förhållandevis varma luften.

Vid påföring med tryck- eller kylkondenserad gas sjunker temperaturen i rummet. Om bränderna är små när släckmedlet påförs kan temperaturen sjunka till flera minusgrader i brandrummet efter påföringen av gas från ett system för rumsskydd.

För handbrandsläckare med koldioxid utformas munstycket som ett snörör. Det gör att energin till förångningen inte kan tas från luften. När koldioxiden lämnar munstycket sjunker trycket och koldioxiden förångas. Temperaturen sjunker då och blir så låg att en del inte förångas utan i stället övergår till fast fas, kolsyresnö. I snöröret finns en urladdningstråd som förhindrar uppbyggnad av statisk elektricitet. Typisk kastlängd för handbrandsläckare med koldioxid är cirka 1–2 m.

För handbrandsläckare bör släckmedlet ha en begränsad spridningsvinkel, men en så lång kastlängd som möjligt. Kastlängderna och omröringseffekterna är större för de tryckkondenserade gaserna än för de tryckkomprimerade. Det är även önskvärt att handbrandsläckare utformas så att de får en så jämn släckmedelsgivning som möjligt.

Användningsområden för gasformiga släckmedel

Gasformiga släckmedel är sällan det mest effektiva valet ur släckteknisk synpunkt. Det är i stället släckmedlens renhet som är den stora fördelen. De flesta gaser ger inga eller små skador vid vådautlösning av släcksystem. (Isaksson m.fl., 1997) Gasformiga släckmedel kan vara ett bra val om värdet på det som ska skyddas är stort, eller om stilleståndstiden måste vara kort.

Användningen av gasformiga släckmedel begränsas till bränder där syret till branden tillförs genom luften. Släckmedlet påverkar endast i gasfasen och kyler inte bränslet direkt. En brand kan därför flamma upp när släckmedlet ventileras bort. Gasformiga släckmedel är följaktligen effektivast som rumsskydd i slutna utrymmen där koncentrationen av släckmedel kan hållas hög under tillräckligt lång tid. Sådana fasta installationer brukar



5.6 Fast anläggning med koldioxid som skyddar ett utrymme med mycket viktig elektronik.

dimensioneras efter cup burner-data eller inerteringsdata. Vid dimensioneringen tillkommer en säkerhetsfaktor som kan variera mellan olika dimensioneringsregler och kompenserar för läckage av släckmedel ut från utrymmet under släckmedels-påföringen och under de 5–15 min som koncentrationen måste hållas uppe för att förhindra återantändning.

Vid brand i silos är ibland gasformiga släckmedel lämpliga. Silon hålls fylld med gasformigt släckmedel tills brandhärden svalnat. Därefter töms den under största försiktighet. När det lagrade materialet sjunker ihop kan det bildas luftfickor. När sådana fickor rasar in kan glödande material, damm och luft virvla upp och komma i kontakt med varandra. Släckprocessen är utdragen i tiden och kan ta dagar eller till och med veckor.

Gasformiga släckmedel används även i handbrandsläckare och som punktskydd, oftast mot bränder i vätskor och elektriska utrustningar. Gasformiga släckmedel är icke ledande, vilket innebär att det är beröringsrisken som blir dimensionerande. (Brandförsvar vid elanläggningar, 1987)

Gasformiga släckmedel är i allmänhet inte användbara vid metallbränder. Vid släckning av brand i exempelvis magnesium med koldioxid respektive kväve kan nedanstående reaktioner ske, vilket innebär att släckning kommer att utebli. Släckmedlen släcker alltså inte branden, utan en kemisk reaktion kan fortgå. (Madrzykowski & Stroup, 1998)



5.7 Släckegenskaper mot heptan och propan för några gasformiga släckmedel. Intervall anger att det finns varierande uppgifter. Som synes varierar cup burner-data ganska mycket. (Isaksson m.fl., 1997)

Släckmedel	Cup burner, n-heptan (propan) [vol%]	Inertering (propan) [vol%]
Koldioxid	20 (21)	28
Kväve	30–34	38
Argon	38–41 (35)	
Argonit	28, >30 (33)	
Inergen	29 (32)	49
HFC 23	12–14	20
HFC125	8,1–9,4 (15)	16
HFC 227ea	5,8–6,6	12
HFC blend A	9?	13?
HFC 134a	9,4–10,5	



5.8 Släckning av källarbrand med koldioxid där rökdykarinsats inte lyckats. Djupkyld koldioxid sprutas genom en källartrappa till ett varuhuslager. Källaren i övrigt är tätad. Så småningom letar sig koldioxiden ut i angränsande utrymmen. Genom ett hål i betongbjälklaget mäts hur temperaturen i brandrummet sjunker timme för timme. Släckningen går dock långsamt. Det kan ta dygn innan källaren kan inspekteras.

Gasernas släckverkan

Gasformiga släckmedel verkar som termisk barlast och sänker temperaturen i flammorna. Vissa gaser, exempelvis haloner, har även en kemisk verkan.

Effektiviteten hos de gasformiga släckmedlen kan anges på flera sätt, till exempel som cup burner-värde för diffusionsflammar eller inerteringsvärde för förblandade flammar. Släckgränserna är dock beroende av bränslet. Det finns bränslen, till exempel metanol och etylen, som kräver avsevärt högre släckkoncentrationer än heptan och propan.

Det finns även andra metoder, exempelvis klassning efter släckning av olika standardiserade bål. Även REMP-värdet kan användas, där släckmedelsåtgången sätts i relation till mängden bränsle som förbränns per sekund.

Rätt hanterad räcker en 5 kg koldioxidsläckare att släcka en brinnande bensinpöl om ungefär 1,6 m².

Vid fasta släcksystem för rumsbrandskydd behövs mer släckmedel i gasflaskor än den volym släckmedel som finns kvar i rummet efter det att systemet utlösts. En del av släckmedlet expanderar tillsammans med luft ut genom de öppningar som måste finnas för att trycket inte ska stiga över vad rummet tål. Denna effekt är mycket påtaglig för släckmedel som kräver hög släckkoncentration. En annan nackdel med höga koncentrationer av släckmedel är att de medför långa utströmningstider.

Utöver att en del av gasen läcker ut innebär också den stora gastillförseln att trycket i rummet ökar kraftigt. Framförallt system som kräver en hög gaskoncentration för att släcka, ger en så hög gaskoncentration att väggar kommer att tryckas ut om tryckavlastning saknas.

För dimensionering av gasformiga släcksystem gäller motsvarande resonemang kring tryck och volym gaser i ett brandrum, som behandlades i avsnittet om kylning av brandgaser med vatten. Genom att ställa upp en massbalans av gaserna i rummet och en energibalans kan trycket beräknas och behovet av tryckavlastning bedömas.

Beräkning av nödvändig gasmängd

För gasformiga släckmedel kan den nödvändiga mängden beräknas. Formeln förutsätter välblandade förhållanden. (Harris, 1983)

$$V_e = V \cdot \ln(100 / (100 - C))$$

V_e [m³] erforderlig gasmängd

C [vol%] önskad koncentration

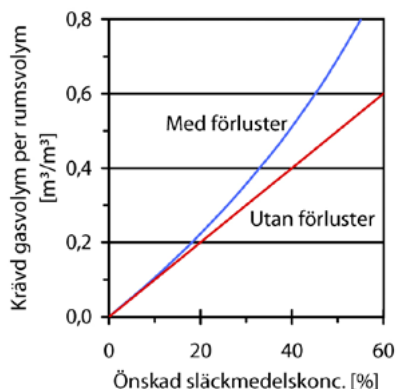
V [m³] rummets volym

För haloner och halonlikande gaser brukar i stället användas

$$V_e = V \cdot C / (100 - C)$$

För rumsskydd väljs C från cup burner-data och för explosionsundertryckningssystem används inerteringsgränsen.

Hur gas blandar sig i rum och hur gaskoncentrationer kan beräknas finns beskrivet utförligare i annan litteratur. Se t.ex. Harris (1983).



5.9 Nödvändig gasvolym enligt den övre formeln. Med förluster avses den mängd släckmedel som släpps ut vid tryckavlastning. Utöver detta måste kompenseras för läckage efter utsläppet och för ofullständig blandning. Ämnen med hög släckkoncentration ges därför en högre dimensionering.

Gasläcksystemens begränsningar

Problemen med gasformiga släckmedel handlar framförallt om att de är giftiga eller åtminstone tränger undan luftens syre samt att vissa av dem har en negativ miljöpåverkan och att de inte kan tas omhand efter en släckinsats.

Personskador av gaserna

Flera gasformiga släckmedel som är tryck- eller kylkondenserade kan när systemen aktiveras leda till mycket låga temperaturer. Det finns därmed skäl att varna för beröring av rörsystem m.m.

Gasformiga släckmedel har två olika typer av toxisk verkan, dels undanträngande av syre, dels förgiftning där gaserna på olika sätt påverkar kroppens funktioner.

Vid släckmedelskoncentrationer som är tillräckliga för släckning blir de flesta gasformiga släckmedel giftiga (vissa av halonersättningsmedlen undantagna). Vid osäkerhet om släckmedelskoncentrationen i rum ska därför alltid andningsskydd

användas om ett fast släcksystem har aktiverats. Detta gäller även om det inte brunnit. Det innebär också att ett ogiftigt gasformigt släckmedel ändå kan göra det omöjligt att vistas i ett rum där släckmedlet använts. Det innebär att det kan ställas krav på säkerhetsfunktioner hos fasta släcksystem för att hindra att personer finns i utrymmen där ett system aktiveras. Tekniska lösningar kan vara tidsfördröjning eller larmdon. Dödsfall har inträffat för att personer vistats i utrymmen där släcksystem aktiverats.

Inertgaser med undantag för koldioxid har inga förgiftande egenskaper vid normal användning. Egentoxiciteten för koldioxid framgår av tabellen. De flesta gaser som används som släckmedel är alltså inte giftiga i sig själva. Men de verkar genom att syrehalten i luften sänks. I synnerhet släckmedel som kräver höga koncentrationer kan ge låga och därmed dödliga syrehalter.

Inertgaser sonderdelas normalt inte vid brandsläckning. Halogenerade släckmedel bryts däremot ned under påverkan av hög temperatur (över cirka 400 °C) och av vattenånga, vilket ger en förändrad toxicitet. Vid brandsläckning ger vissa gaser nedbrytningsprodukter som ibland kan vara mer giftiga än den ursprungliga gasen. De huvudsakliga nedbrytningsprodukterna är syrorna vätefluorid (HF), vätebromid (HBr), väteklorid (HCl), och vätejodid (HI), där den förstnämnda dominerar. Syrorna är irriterande och påverkar slemhinnorna i ögon, näsa och hals och försvårar därigenom utrymning. Även andra produkter, som till exempel brom (Br₂), fluor (F₂), jod (I₂), carbonylfluorid (COF₂), och fosgen (COCl₂) kan förekomma. De sistnämnda,

Koncentration [%]	Tid	Symptom
2	flera timmar	Andnöd, huvudvärk
6–10	ej angiven	Andnöd, huvudvärk, yrsel, oro, svettningar, domningar
10–15	1,5 minut	Neurologiska symptom som agitation, muskelryckningar
12	8–23 minuter	Medvetlöshet
20–30	1 minut	Medvetlöshet och kramper

5.10 Påverkan på människa av olika koncentrationer CO₂ vid olika exponeringstider (Isaksson m.fl. 1997).

carbonylfluorid och fosgen är båda mycket giftiga, men har uppmätts endast i mycket låga koncentrationer. Mängderna som produceras beror bland annat på släckmedlets kemiska sammansättning. Giftighet för några av nedbrytningsprodukterna finns sammanställda i tabellen. Notera att hygieniska gränsvärden enligt AFS är avsevärt lägre.

I en hangar utan brand utlöste ett släcksystem med 4 ton halon 1301. När räddningstjänsten kom till platsen ställdes fordonen upp 25 m från byggnaden. Efter genomsökning konstaterades att det inte brann och ventilering påbörjades. Den utsläppta gasen spred sig utanför byggnaden och sögs in med luften i brandbilarnas motorer. I motorerna reagerade halonet till vätebromid och vätefluorid. Den bruna stickande gasen gjorde det nödvändigt att stänga av motorerna. Effekten blev särskilt tydlig på grund av vädret som var fuktigt och disigt. (Hanning, 1992)

Gasernas miljöpåverkan

Argon och kväve förekommer båda naturligt i luften. De utvinns ur luften och släpps tillbaka dit vid användningen. De har därför inte diskuterats som miljöskadliga. Inte heller koldioxid som släckmedel i brandsammanhang, eftersom den samlas upp som restprodukt vid förbränning.

Temperaturen i atmosfären hålls på en jämn nivå genom att växthusgaser i atmosfären, huvudsakligen vatten och koldioxid, absorberar värmestrålning från jorden och återstrålar en stor del tillbaka till jorden igen, i stället för att låta den strålas ut i rymden. Förmågan hos en gas att ge växthuseffekter beror av ämnets infrarödabsorberande egenskaper och dess atmosfäriska livstid. Koncentrationen av växthusgaser i atmosfären har ökat markant på grund av mänsklig aktivitet, vilket leder till en kraftig ökning av jordens medeltemperatur.

Växthuseffekter hos gaser beskrivs med dess GWP, Global Warming Potential, som har koldioxid som referensgas. Växthuseffekten kan dessutom beräknas med olika lång tidshorisont. Då uppgifter från olika källor jämförs är det därför viktigt att se till att de har samma referensgas och tidshorisont. Exempelvis gasen HFC 134a har GWP 3100 de första 20 åren, GWP 1200 över 100 år och GWP 400 för en tidsperiod av 500 år. För blandgaser får de enskilda komponenterna studeras var för sig.

Ämne	IDLH [ppm]
Brom	3
Klor	10
Fluor	25
Vätebromid	30
Väteklorid	50
Vätefluorid	30
Fosgen	2
Koldioxid	40 000

5.11 IDLH för de vanligaste nedbrytningsprodukterna hos halogenerade kolväten och för koldioxid som jämförelse (NIOSH, 1995). IDLH står för "Immediately Dangerous to Life or Health concentration", alltså en koncentration som är omedelbart farlig för liv eller hälsa.

5.12 Miljöegenskaper
för gaser. (Isaksson m.fl.,
1997) (Rivers)

Släckmedel	GWP (100 år) [–]	ODP [–]	Atmosfärisk livstid [år]
CO ₂	≡ 1	0	–
Halon 1211		3	
Halon 1301	4 900–5 800	10	77–101
CFC 11 (kylmedium)	3 400	≡ 1	55
HFC23	14 800	0	230–400
HFC125	3 500	0	28–36
HFC227ea	3 220	0	31–42
HFC 134a	1 200–1 300	0	16

≡ betyder definitionsmässigt lika med

CFC- och HCFC-gaser (helt respektive delvis klorerade och fluorerade kolväten), med halonerna som det tydligaste exemplet, bryter ner ozon i atmosfären. Försäljning av handbrandsläckare och nyinstallation av fasta släcksystem med halon förbjöds i Sverige 1991. Med vissa undantag är fasta installationer av halon helt förbjudna i Sverige sedan 1997.

FC- och HFC-gaser (helt respektive delvis fluorerade kolväten) har inte påvisats ge samma påverkan. Mättet på ett ämnes ozonnedbrytande förmåga benämns ODP, Ozone Depletion Potential. Det är beräknat med hänsyn till faktorer som ämnets livstid i atmosfären, transporttiden till stratosfären, hastigheten och höjden för ämnets nedbrytningsreaktioner, samt vilka reaktiva ämnen som kan produceras i stratosfären och i vilken mängd. Beräkningarna är osäkra och brukar därför relateras till motsvarande värde för kylmediet CFC-11 som satts till 1.

Nästa miljöproblem med de halogenerade gaserna är deras långa livstid i atmosfären. Halon 1301 har en atmosfärisk livstid på 77–101 år. HFC- och HCFC-föreningar har liknande atmosfärisk livstid. FC-föreningarna har 10–20 gånger längre livstid. Då konsekvenserna av detta inte går att överblicka, eller uppträder först på längre sikt, finns det starka skäl att undvika även FC-föreningar som släckmedel.

Gasernas skador på egendom

En stor fördel med gasformiga släckmedel är att det inte finns några kvarvarande släckmedelsrester när gasen vädrats ut. Halogenerade gaser ger dock nedbrytningsprodukter som verkar korroderande på metaller, när de vid en brand utsätts för värme och fukt.

Annars är de små sekundärskadorna det kanske viktigaste argumentet för gasformiga släckmedel. En fritös i ett restaurangkök kan därför i princip användas direkt efter att ett koldioxidssystem släckt en brand och gasen vädrats ut. Även vid andra ställen där renheten är väsentlig, är gasformiga släckmedel ett givet alternativ, då släckmedlen i stort sett inte ger några egendomsskador. Renheten är en särskilt positiv egenskap vid tillbud eller felutlösningar, i synnerhet om stilleståndstiden inte får bli lång.

Kapitel 6

Släckteori

För att förstå brandsläckningen som fenomen, är det nödvändigt att förstå branden. Brandteorins grunder och brandförloppet finns beskrivna i annan litteratur. Se t.ex. Ondrus (1996), Bengtsson (2001), Drysdale (1985), Karlsson & Quintiere (1999). Här fokuseras mot släckmekanismer istället.

Kunskapen om släckmedel och deras verkan är ofullständig. Inom vissa delar av området finns litteratur, till exempel Lewis (1961) om gasblandningars brännbarhetsområden och släckmedels inverkan på förbränningshastigheten. Kunskapen är dock liten om hur exempelvis effektutveckling, temperatur, strålning och sotbildning påverkas under släckförloppet. Mycket av kunskapen om släckmekanismer kommer från experiment med förblandade gaser i liten skala. Verkliga bränder är å andra sidan ofta i stor skala där luft och bränsle kommer från var sitt håll. Beträffande de tekniska delarna inom området baseras kunskapen till största del på erfarenhet.

Den normala brandsituationen, med släckning av turbulenta diffusionsflammar över en glödande bränsleyta är en komplicerad process. Både energibalansen i gaserna och vid bränsleytan påverkar släckförloppet.

Fyra situationer kommer att diskuteras i detta kapitel:

- Gasfasverkan vid förblandade flammar
- Gasfasverkan vid diffusionsflammar
- Ytverkan vid diffusionsflammar
- Ytverkan vid glödbrand

Indelningen är gjord efter vilken del av branden som studeras, om det är själva flammorna (gasfasverkan) eller om det är

bränsleytan (ytverkan). Dessutom skiljer vi mellan förblandade flammor, där luften och bränslet är blandat före antändning, och diffusionsflammor, där bränslet och luften kommer från var sitt håll och där flammen finns i gränsskiktet mellan dem. Vid glödbrand sker en nedbrytning och förbränning inne i det fasta materialet.

Nästan alla metoder att släcka flammor kan till största delen tillskrivas en sänkning av temperaturen så mycket att förlusterna inte längre kan kompenseras. Det gäller exempelvis när man blåser ut ett ljus, när en brinnande halmbal sänks ner i vatten eller när ett koldioxidssystem släcker en brand i ett restaurangkök.

Flammor slocknar när reaktionshastigheten blivit så långsam att energiförlusterna blir större än den frigjorda energin. Förlusterna kan bero på ofullständig förbränning, strålning, tillsats av släckmedel eller på strömningsförluster då flammorna befinner sig i närheten av ett fast material eller vätskeyta.

Släckning av förblandade flammor

När bränsleångor ges möjlighet att blandas med luft eller syre före förbränningen, uppträder förblandade flammor. Bränslet är då alltid gasformigt, exempelvis gasol och naturgas, eller bränsleångor från utspild bensin eller etanol. Förblandade flammor kan också uppträda när en brand bildat pyrolysgaser som inte förbränts, utan ansamlats.

Brännbarhetsgränser och inerteringsgränser

Den övre brännbarhetsgränsen för hexan i luft är cirka 7 vol% och den undre gränsen 1,3 vol%. Vid spädning med kvävgas minskar brännbarhetsområdet. Vid en tillsats av cirka 43 vol% kväve sammanfaller den övre och undre brännbarhetsgränsen. Bränslekonzentrationen är då cirka 2 vol% hexan. (Beyler 1995)

Brännbara gasblandningar förlorar sin förmåga att brinna om en spädande gas tillförs. Spädningen kan göras med en inertgas eller genom ett överskott av luft eller bränsle. Vid den undre brännbarhetsgränsen finns för mycket luft i gasblandningen och vid den övre brännbarhetsgränsen innehåller blandningen för mycket bränsle.

Termisk verkan

Reaktionshastigheten i flammor styrs av koncentrationen av bränsle och syre, men också av reaktionstemperaturen. Hastigheten ges av Arrheniusformeln (Waser m.fl. 1982):

$$v = AC_f C_o e^{-E_A/RT}$$

v [mol/s] reaktionshastighet
 A reaktionskonstant
 C_f [mol/m³] bränslekonzentration
 C_o [mol/m³] syrekonzentration
 E_A [J/mol] aktiveringsenergi
 R [J/molK] allmänna gaskonstanten
 T [K] reaktionstemperatur

Denna enstegsreaktion är en mycket grov förenkling av en förbränningsprocess som vanligen består av ett stort antal kedje- och radikalreaktioner.

Reaktionshastigheten kan minskas genom att antingen bränslekonzentrationen, syrekonzentrationen eller temperaturen minskas eller genom att aktiveringsenergin ökas. När ett släckmedel tillsätts späds bränslet och syret ut. Reaktionshastigheten minskar då linjärt. En spädning med inertgas till exempelvis 50 vol% minskar både koncentrationen bränsle och syre till hälften. På grund av att flammen utarmas och kvävs minskar reaktionshastigheten därmed till en fjärdedel. Liknande effekt fås genom spädning med ett överskott av bränsle eller luft.

Detta är dock inte den största effekten av spädningen. Den ger nämligen vad vi kan kalla en termisk barlast. Hela gasblandningen, alltså även gaser som inte deltar i någon kemisk reaktion, värms upp i flammorna. För detta åtgår energi, vilket ger en lägre flamtemperatur. En lägre flamtemperatur sänker i sin tur reaktionshastigheten. Vid stökiometrisk förhållanden utan barlast är temperaturen cirka 2 300 K och vid släckgränsen cirka 1 300 K. Data från högtemperaturreaktioner för några vanliga bränslen visar att E_A/R är i storleksordning 16 000 K, vilket innebär att reaktionshastigheten sänks 200 gånger på grund av sänkt flamtemperatur efter spädningen med inertgas.

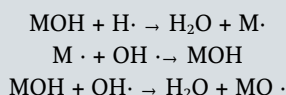
Spädningseffekten för argon, det släckmedel som kräver störst koncentration för släckning, cirka 55 vol% vid stökiometri, reducerar reaktionshastigheten ungefär 4 gånger, samtidigt som den medföljande termiska barlasten sänker reaktionshastigheten 200 gånger, alltså femtio gånger mer.

För att minska bränsle- och syrekonzentrationen utan att ändra flamtemperaturen eller aktiveringsenergin måste trycket i flammen sänkas. Vid låga tryck kvävs radikaler vid inneslutningens väggar, vilket hjälper till att släcka flammen. Däremot tycks det inte finnas någon tryckgräns för släckning av flammor på motsvarande sätt som för temperaturen.

Kemisk verkan, inhibition

Den totalt dominerande släckverkan är termisk. Den handlar om att allt som finns i flammen värms upp och det ger en lägre flamtemperatur. Denna termiska effekt är rent fysikalisk.

Det finns även en kemisk släckeffekt, även om den är av underordnad betydelse: inhibition. Två förutsättningar måste vara uppfyllda: Den första är att släckmedlet måste innehålla vissa specifika ämnen. Kaliumradikaler kan exempelvis släcka ut andra radikaler, i en process som dessutom återbildar kaliumradikalen. Denna process ger en ökad släckeffekt. Generellt kan processen beskrivas, där M exempelvis kan vara en alkalimetall:



Den andra förutsättningen är att ämnena förekommer i flammen i radikalform, alltså i ämnets minsta beståndsdel på molekylnivå. Den förutsättningen finns endast för gasformiga släckmedel och de minsta aerosolerna (Rohilla, 2019).

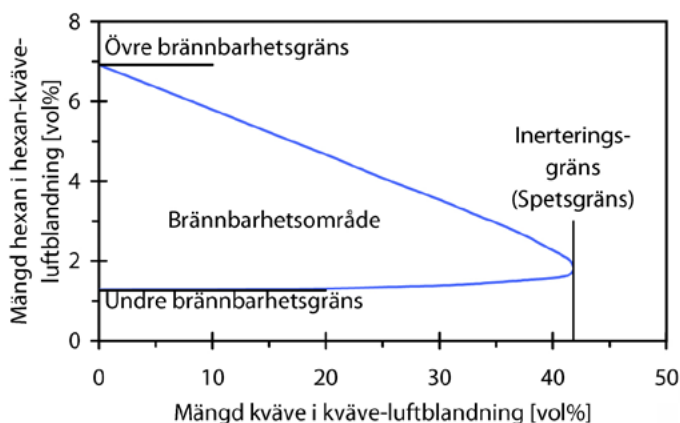
Inhibition uppträder i praktiken främst hos haloner, men även hos dem förklaras 95 % av släckeffekten av termisk släckverkan. Inhibition förklarar cirka 5 %. Övriga gaser, liksom vatten, är inerta. Vanliga pulverkorn är för stora för att hinna värmas upp till tillräckligt hög temperatur. Vid aerosolstorlekar under cirka 0,05 mm (50 µm) ökar släckeffekten markant vilket förklaras av att släckmedlet förångas fullständigt och att fasövergångar kräver mest energi, samt att inhibition kan uppstå.

För varje blandning av bränsle, luft och släckmedel finns en lägsta släckmedelskoncentration där blandningen är obrännbar oavsett förhållandet mellan luft och bränsle. Denna koncentration kallas för inerteringsgränsen eller spetsgränsen. Vid en koncentration av släckmedel över inerteringsgränsen kan gasblandningen inte brinna, oberoende av koncentrationen bränsle och luft.

Brännbarhetsgränserna vidgas med ökad temperatur. För en gasblandning vid rumstemperatur är brännbarhetsområdet därför helt annorlunda än för en varm gasmassa från en brand.

Det är i praktiken omöjligt att släcka en förblandad större flamma genom att tillföra luft för att komma under den undre

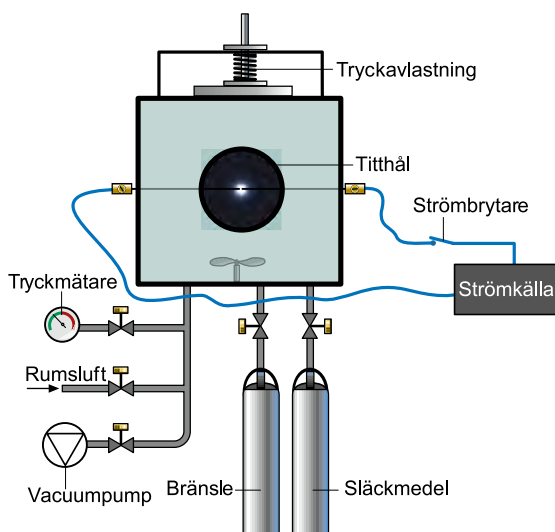
6.1 Brännbarhetsgränsen för blandningar av hexan, luft och kväve (efter Lewis, m.fl., 1961).



brännbarhetsgränsen. Däremot går metoden utmärkt att använda innan antändning, för att begränsa den volym där en förblandad flamma kan utbreda sig. Genom ökad ventilation i en byggnad kan risken med brännbara ångor hanteras. Avsikten är att hålla koncentrationen av brännbar gas under den undre brännbarhetsgränsen i hela byggnaden förutom i det lilla området nära utsläppet.

Brännbarhets- och inerteringsgränserna representerar kritiska tillstånd utanför vilka en blandning av bränsle och luft inte kommer att reagera. De är intimt förknippade med kinetiken för gasfasreaktioner. Gränserna kan nås genom att luft, bränsle, inert släckmedel eller kemiskt aktivt släckmedel läggs till, eller genom att värme från flammorna förs bort genom strålning, konvektion till ytor m.m.

Brännbarhetsgränser kan bestämmas genom experiment där gasblandningar innesluts, blandas om och antänds. Med sådana tester bestäms den minsta mängd släckmedel som krävs för att antändning ska kunna ske, oberoende av mängden syre eller bränsle. Vanligtvis behövs mest släckmedel för en gasblandning nära den stökiometriska. Inerteringsgränsen för olika släckmedel beror på vilket bränsle som används och dessutom på hur försöken utförs. Brännbarhetsområdet varierar med apparatens volym, avståndet mellan elektroderna, antändningsenergin och dessutom med hur brännbart respektive obrännbart definieras. Inerteringsgränsen är alltså inte en släckmedelskonstant, utan beror av situationen. Detta är förklaringen till varför brännbarhetsområden kan variera.



6.2 Explosionsbommen är ett exempel på utrustning för bestämning av brännbarhets- och inerteeringsgränser.

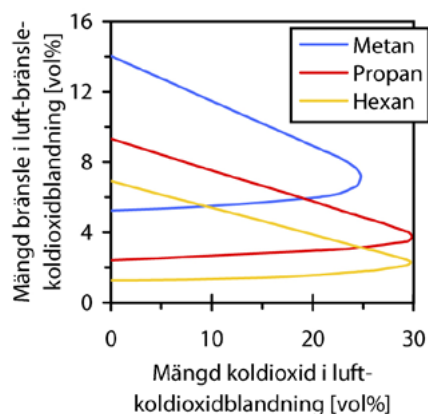
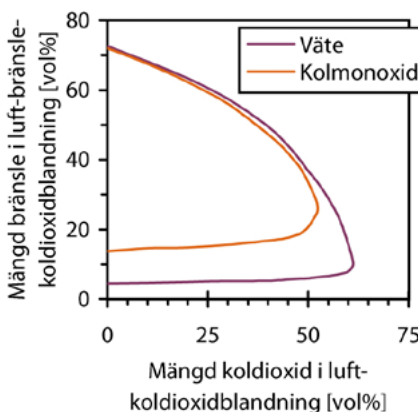
I diagram ges exempel på uppmätta brännbarhetsgränser för olika blandningar av bränsle, luft och släckmedel. Inerteeringsgränsen är den lägsta koncentrationen av släckmedel som ger släckning, oavsett bränslets koncentration. Observera axlarnas storheter. Bränslekonzentrationen anges som vol% bränsle i blandningen av bränsle, släckmedel och luft. Koncentrationen släckmedel ges däremot i blandningen av luft och släckmedel. Mängden bränsle räknas alltså inte med. Orsaken är att inerteeringsgränsen ofta används för att dimensionera släcksystem. Då beräknas nödvändig mängd släckmedel, oberoende av hur mycket bränsle det kan finnas i rummet.

6.3 (vänster)

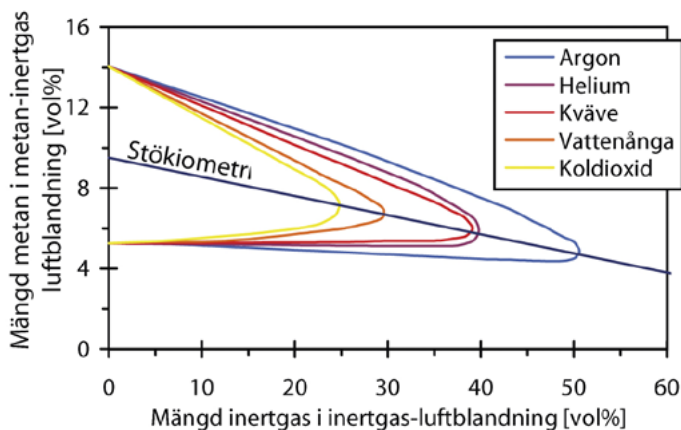
Brännbarhetsgränser för några vanliga kolväten i luft vid spädning med koldioxid vid rumstemperatur och atmosfärstryck (efter Lewis, 1961). Bensen har liknande brännbarhet som hexan.

6.4 (höger)

Brännbarhetsgränser för väte och kolmonoxid i luft vid spädning med koldioxid vid rumstemperatur och atmosfärstryck (efter Lewis, 1961).



6.5 Brännbarhetsgränserna för metan i luft vid spädning med olika inertgaser vid rumstemperatur och atmosfärstryck (efter Lewis, 1961).



LIKA temperatur vid släckgränsen

Brännbarhetsgränserna för förblandade gaser kan beräknas med hjälp av den adiabatiska flamtemperaturen. Begreppet adiabatisk innebär här att all frigjord energi antas gå åt för att värma upp slutprodukterna. De kemiska reaktionerna går så snabbt att något värmeutbyte inte hinner ske mellan flammorna och omgivningen. Vi kan därmed bortse ifrån värmeförluster till omgivningen. Den adiabatiska flamtemperaturen är fiktiv och används endast i beräkningssammanhang. Den verkliga flamtemperaturen är oftast mycket lägre.

Vid släckgränsen är den adiabatiska flamtemperaturen i stort sett konstant och i storleksordningen 1 500–1 600 K för alla icke kemiskt aktiva släckmedel och för alla kolvätebränslen; se tabellerna. Den verkliga temperaturen ligger 200–300 °C lägre. Denna temperaturgräns beror på att reaktionshastigheten blir för låg om temperaturen sjunker. Syret och bränslet hinner inte reagera innan gaserna transporterats ut ur flammen. Beräkningarna är känsliga. Ett fel på 0,1 vol% i bränslekonzentration motsvaras av en ändring av den beräknade adiabatiska flamtemperaturen på 50–100 K. (Lewis, 1961)

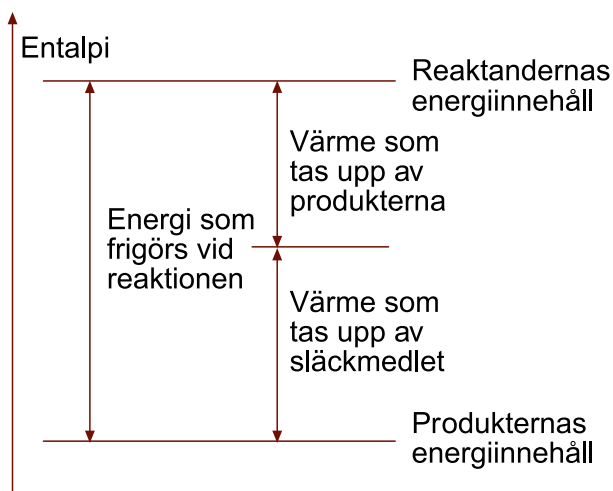
Flamtemperaturen är så låg vid släckgränsen att dissociation av förbränningsgaserna kan försummas. Det förenklar beräkningarna avsevärt. Dissociation innebär att ett ämne sönderdelas i enklare molekyler eller atomer, vilket sker vid mycket höga temperaturer.

Kolväte	Metan	Etan	Propan	n-Butan	n-Pentan	n-Hexan	n-Heptan
Adiabatisk flamtemperatur [K]	1 498	1 491	1 506	1 613	1 563	1 634	1 595

6.6 Beräknad adiabatisk flamtemperatur vid den undre brännbarhetsgränsen för blandningar av kolväte och luft vid rumstemperatur.

Inertgas	Luft	Argon	Kväve	Koldioxid	Vattenånga
Adiabatisk flamtemperatur [K]	1 533	1 530	1 600	1 650	1 663

6.7 Beräknad adiabatisk flamtemperatur vid inerteeringsgränsen för blandningar av metan, luft och inertgas.



6.8 Entalpidiagram för en adiabatisk kemisk reaktion.

Ämne	Cp vid 1000K [J/molK]
Kväve	32,7
Syre	34,9
Koldioxid	54,3
Kolmonoxid	33,2
Vattenånga	41,2

6.9 Cp för några vanliga gaser. (Drysdale, 1985)

Ämne	– ΔHc [kJ/mol]
Kolmonoxid	283
Metan	800
Etan	1 423
Eten	1 411
Etyl	1 253
Propan	2 044
n-Butan	2 650
n-Pentan	3 259
n-Oktan	5 104
c-Hexan	3 680
Bensen	3 120
Metanol	635
Etanol	1 232
Aceton	1 786
d-Glykos	2 772

6.10 ΔHc för några vanliga brännbara gaser. (Drysdale, 1985)

Beräkning av brännbarhetsgränsen

På grund av att flammor slocknar vid ungefär samma temperatur kan undre och övre brännbarhetsgränsen och inerteringsgränsen för inerta släckmedel beräknas (Drysdale, 1985; Bengtsson, 2001). Som utgångspunkt för beräkningarna används vanligen termodynamiska data vid konstant tryck och vid 1000K, som är den ungefärliga genomsnittstemperaturen. Adiabatiskt, alltså om energiförluster till omgivningen försummas, går all utvecklad energi åt till att värma upp förbränningsprodukterna och släckmedlet:

$$\Delta H_c = \Delta T \sum n_p C_{p,p}$$

$$\Delta T = T_{ad} - T_0$$

ΔH_c [J/mol] förbränningsvärme

ΔT [K] skillnad mellan begynnelse- och släckgräns

T_{ad} [K] adiabatisk flamtemperatur vid släckgränsen, ca 1 550 K

T_0 [K] begynnelse-temperatur

n_p [mol] mängd produkter per mol bränsle

$C_{p,p}$ [J/molK] värmekapacitet för produkterna

Beräkning av brännbarhetsgränserna sker med utgångspunkt från en stökiometrisk blandning av bränsle och luft. Därefter tillsätts antingen luft eller bränsle. Detta överskott kommer då att verka kylande.

Vid spädning med inertgasar som kväve, koldioxid, argon eller vattenånga i stället för med luft eller bränsle fås en likartad effekt. Inertgasen minskar flamtemperaturen på grund av den energi som åtgår för att värma upp släckmedlet.

$$\Delta H_c = \Delta T \sum n_p C_{p,p} + \Delta T \sum n_e C_{p,e}$$

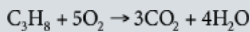
n_e [mol] mängd släckmedel per mol bränsle

$C_{p,e}$ [J/molK] värmekapacitet för släckmedlet

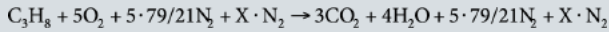
Beräkningen handlar om gasformiga släckmedel. Motsvarande resonemang kan också användas om släckmedel i vätske- eller pulverform.

Den andel av reaktionsvärmes som släckmedlet måste ta upp från en stökiometrisk flamma för att den ska slockna är vanligtvis cirka 45 %. Flammorna kommer att slockna då den adiabatiska flamtemperaturen når ungefär samma värde som vid den undre brännbarhetsgränsen i luft.

Inerteringsgränsen för kvävgas i en blandning av propan och luft vid 293 K (20 °C) beräknas genom att först skriva upp reaktionsformeln. Vid stökiometri blir reaktionsformeln totalt sett:



Till denna läggs på båda sidor dels luftens kväve, dels släckmedlet som en okänd mängd extra kväve.

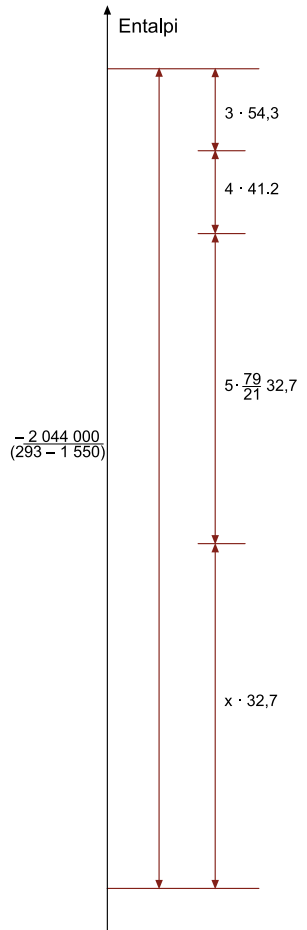


Att all frigjord energi går till uppvärmning av produkterna innebär att
 $-2\,044\,000 = (293 - 1550) \cdot (3 \cdot 54,3 + 4 \cdot 41,2 + 5 \cdot 79/21 \cdot 32,7 + \text{X} \cdot 32,7)$
 $1626 = 942,8 + \text{X} \cdot 32,7$

I detta fall blir den okända mängden kväve i reaktionsformeln $\text{X} = 20,9$ och inerteringsgränsen blir därmed
 $20,9 / (1 + 5 + 5 \cdot 79/21 + 20,9) = 0,46$

alltså 46 vol%. Detta kan jämföras med data från experiment som är mellan 43–45 vol%.

Det vanliga är att bränslemängden är okänd, så ofta uttrycks inerteringsgränsen i stället: $20,9 / (5 + 5 \cdot 79/21 + 20,9) = 0,47$



6.11 Entalpidiagram för exemplet ovan.

Brännbarhetsgräns för blandade gaser

För en gasblandning ges den undre brännbarhetsgränsen (u_b) enligt Le Chateliers princip

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{X_j}{C_j}$$

C [vol%] gasblandningens u_b
 X_j [-] molfraktion av ämne j
 C_j [vol%] u_b för ämne j

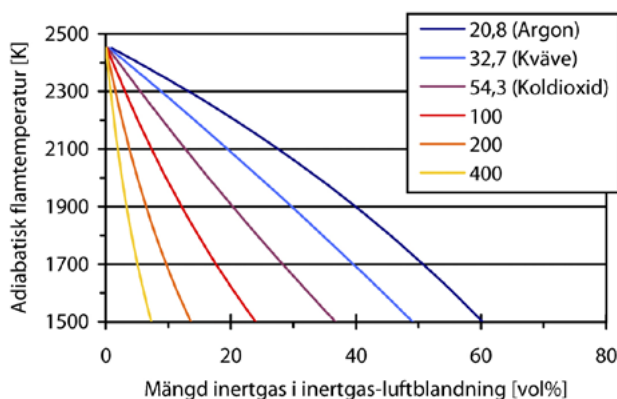
Principen gäller även för beräkning av släckgränsen för blandningar av olika inertgaser. Är släckgränserna för de olika komponenterna kända, kan alltså släckgränsen för gasblandningen uppskattas.

Syrgaskoncentration vid släckning

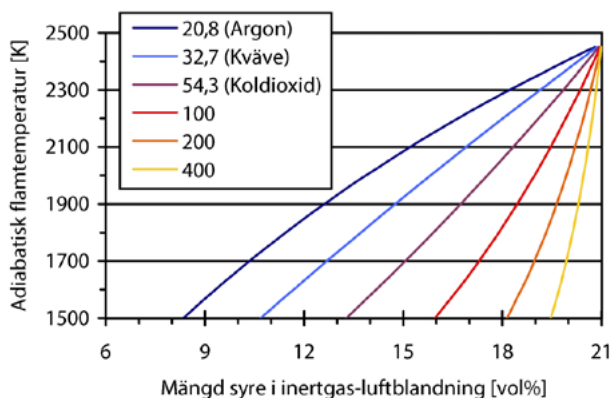
Genom att använda konstant adiabatisk flamtemperatur vid släckgränsen, kan syrgaskoncentrationen vid släckning beräknas för olika släckmedel. Syrgaskoncentrationen varierar mycket. Detta betyder att kvävning, i betydelsen släckning genom minskad syrekonzentration, sällan sker. För pulver utan kemisk effekt är syrgashalten vid släckgränsen nästan oförändrad 21 vol%. För halon är den ungefär 19,5, för halonersättningsmedel 17,8, för koldioxid 14 och för kvävgas 11,5 vol%. Flammorna släcks i stället genom att den termiska barlasten sänker flamtemperaturen.

För gaser är mol % ungefär lika med vol %. För att få mass % måste ämnens molvikt tas med i beräkningen.

6.12. Beräknad adiabatisk flamtemperatur vid spädning med inertgaser med olika cp. Släckgränsen motsvaras av en adiabatisk flamtemperatur om ca 1550K.



6.13. Beräknad adiabatisk flamtemperatur beroende på syrgaskoncentration vid spädning med inertgaser med olika cp. Syrgaskoncentrationen vid släckgränsen varierar mycket mellan olika släckmedel.

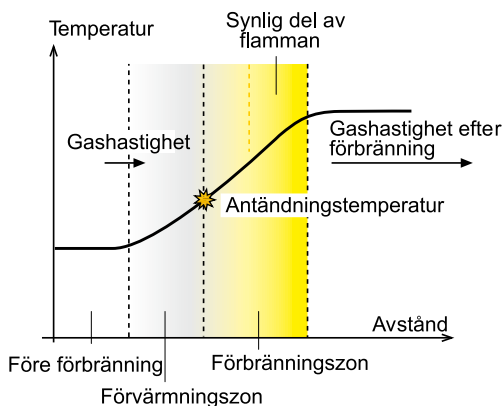


Förbränningshastighet

I en förblandad laminär flamma är förbränningshastigheten den hastighet med vilken den ännu kalla blandningen av bränslegaser och luft närmar sig förbränningszonen.

I luft är förbränningshastigheten för de vanligaste kolvätena 0,20–0,50 m/s. Gasernas temperatur ökar i flaman och gasernas expansion ger en acceleration efter reaktionszonen. Hastigheten blir då 5–8 gånger högre än förbränningshastigheten.

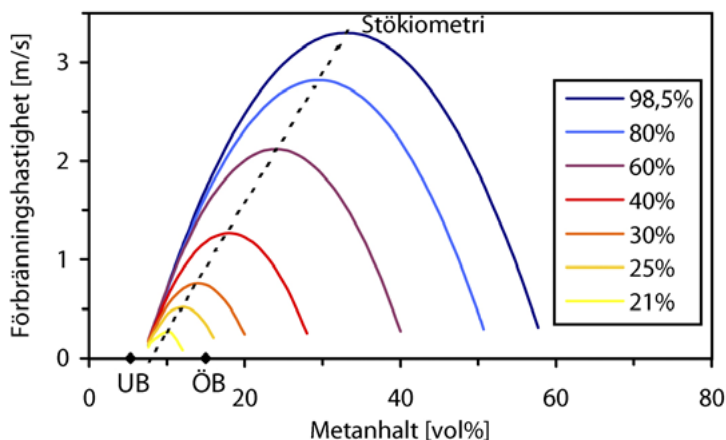
Nära brännbarhetsgränsen blir ofta flammorna mycket instabila och lätta att störa så att de slocknar. När blandningens sammansättning närmar sig brännbarhetsgränsen minskar förbränningshastigheten till ett par decimeter per sekund vid gränsen. Vid gränsen blir reaktionszonen så bred att flaman störs av de konvektiva strömmar som tyngdkraften ger.



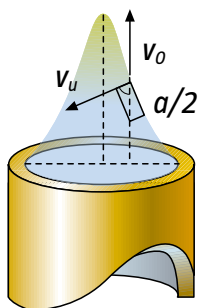
6.14 Temperaturfördelningen i en laminär flammas reaktionszon.

Om gasflödet ökar blir strömningen turbulent och då ökar förbränningshastigheten. Det beror på att reaktionsytan ökar med turbulensen.

Kemiskt aktiva släckmedel reducerar förbränningshastigheten även när de tillförs en brännbar gasblandning i små koncentrationer, enstaka procent. Detta gäller exempelvis halon 1301 och halon 1211. Släckverkan när koncentrationen ökas är i huvudsak termisk. Även andra kemiska föreningar påverkar förbränningshastigheten. Järnpentakarbonyl har exempelvis en större effekt än haloner. Detta är verkan av kemisk inhibition, där släckmedlet fungerar som en omvänd katalysator. Få av de vanligast använda släckmedlen har nämnvärd kemisk verkan i gasfas. Det gäller bland annat vatten, de flesta gaser utom haloner och de flesta pulversorter.



6.15 Förbränningshastigheten vid olika syrekonzentration för blandningar av metan, syre och kväve vid rumstemperatur och atmosfärstryck (efter Lewis, 1961).



6.16 Schlierenkon-
metoden för bestämning
av den laminära förbrän-
ningshastigheten.

Mätning av förbränningshastighet

Förbränningshastigheten kan med hjälp av ljusets avböjning mätas i en schlierenkon. En konisk och laminär flamma stabiliseras på en brännare. Genom att från sidan lysa på flammen projiceras den på en skärm. Förhållandet mellan flammans yta och brännarrörets yta beräknas. Eftersom hastigheten i brännarröret är känd, kan förbränningshastigheten beräknas. Osäkerheten i metoden är cirka 10 %. (Lewis, 1961)

$$v_u = v_0 \sin \alpha / 2$$

v_u [m/s] laminär förbränningshastighet
 v_0 [m/s] gashastighet i brännarmynningen
 α [°] konvinkeln i flammen

Förbränningshastigheten varierar med exempelvis blandningens sammansättning och utgångstemperatur. I figur 6.15 visas uppmätta förbränningshastigheter för metan som brinner i luft med förhöjd syrehalt. Kurvorna går inte ner till noll, vilket beror på att flammorna blir instabila nära släckgränsen. Vid den koncentration där flamhastigheten blir så låg att flammorna slocknar, återfinns undre respektive övre brännbarhetsgränsen för gasblandningen.

Kemisk verkan

De allra flesta gas-, vätske- eller pulverformiga släckmedel verkar huvudsakligen termiskt som värmelagrare. Ett undantag är en liten grupp halogenerade kolväten, haloner, samt eventuellt enstaka pulver. Ett släckmedel har en kemisk verkan om det släcker flammor vid en koncentration som är lägre än den som på termisk väg behövs för att sänka den adiabatiska flamtemperaturen vid släckgränsen till under 1 500–1 600 K. Det minskar reaktionshastigheten i förbränningszonen under den nivå som vore normal för motsvarande adiabatiska flamtemperatur.

Den kemiska verkan består i att släckmedlet, eller delar av det, reagerar med radikaler och bildar stabila föreningar. Tillgång till radikaler i flamfronten är betydelsefull för nedbrytningen av bränslet.

Processen är mycket komplex, men dess effekt kan jämföras med en ökning av aktiveringsenergin. En tillsats av kemiskt aktiva släckmedel ändrar det reaktionskinetiska schemat genom att påverka kedje- och radikalreaktionerna. Släckmedlet oskadliggör radikaler som $H\cdot$ och $HO\cdot$ genom att bilda stabila produkter som exempelvis vätebromid och väteklorid.

Störst kemisk effekt har haloner som innehåller klor, brom och jod. Bland dessa kan nämnas halon 1211 och 1301, men även för dessa har den termiska lagringsförmågan stor inverkan på släckförloppet. Släckmedel som består av fluorerade kolväten verkar i huvudsak termiskt.

Vissa flamskyddsmedel innehåller halogenerade kolväten. De påverkar branden med motsvarande släckmekanismer som haloner i övrigt.

Dimensionerande släckgräns

Inerteringsgränsen är den dimensionerande gränsen för att förhindra antändning av en förblandad gasmassa. Värden som anges i tabeller rör normalt en blandning av propan, luft och släckmedel. Sådana värden återfinns i kapitlet om gaser. Andra bränslen eller annorlunda luftsammansättning ger andra inerteringsgränser.

Skillnaden i mängd är mycket större mellan de olika släckmedlen om den räknas per volym än per massa. Skälet är att släckmedel som har låga inerteringsgränser samtidigt har en stor molekylvikt. Även om inerteringsgränsen i vol% kan variera mycket mellan två olika gaser, kan mängden vara ungefär lika, uttryckt i g/m^3 . De flesta gasformiga släckmedel ger inerte-ring vid en inblandning motsvarande 600–900 g/m^3 .

För finfördelat pulver anges normalt hur många gram som behövs för att inertera en gasvolym, ofta i storleksordningen 100 g/m^3 . Pulver är mycket effektivare per viktenhet än exempelvis gasformiga släckmedel. Räknat i gram per kubikmeter luft går det åt 5–10 gånger mer av ett gasformigt släckmedel än pulver. Utmaningen med pulver är svårigheten att hålla pulverkornen svävande och spridda.

I inerteringsgränsen ingår inte de släckmedelsförluster som uppkommer då systemet utlöses. För att en gasblandning ska inerteras krävs att koncentrationen av släckmedel upprätthålls i hela området där flammor kan uppträda.

Vid manuell brandsläckning riktas strålen av släckmedel mot branden. Vid släckning med fasta släcksystem är det ofta okänt var branden kan komma att uppstå och hur den kan komma att sprida sig. Då talas om punktskydd (streaming agent på engelska) när det är känt var branden kan uppstå, exempelvis vid en maskin eller rumsskydd (total flooding agent)

när ett helt rum ska skyddas, oberoende av var branden uppstår. Utomhus passar de gasformiga släckmedlen sämre.

Släcksystem för rumsskydd med gasformiga släckmedel dimensioneras för att skapa en obrännbar atmosfär i hela rummet vid aktivering. Det innebär att hela mängden släckmedel släpps ut, även om branden är liten. Efter aktivering måste systemet fyllas på innan det blir funktionsdugligt igen.

Släckning av diffusionsflammar genom gasfasverkan

En diffusionsflamma är en flamma där bränslet och syret från början inte är blandade. De går i allmänhet lättare att släcka och det går åt mindre mängd släckmedel än för en förblandad flamma. Det beror till stor del på att värmeförlusterna är större i en diffusionsflamma än i en förblandad flamma. Diffusionsflamman har lägre förbränningseffektivitet, strålar mer och är ofta i kontakt med kylande ytor.

När diffusionsflammar är större än någon meter finns det indikationer på att den kylning som behövs för att släcka flaman ökar och närmar sig förhållandet för den förblandade flaman. Diffusionsflamman innehåller tunna reaktionszoner där bränslet och luften är blandade med en sammansättning inom brännbarhetsgränserna. Blandningens sammansättning styrs till stor del av turbulensen och varierar.

Det finns tyvärr ingen enkel släckgräns för diffusionsflammar motsvarande inerteeringsgränsen för förblandade flammar. Det krävs dock alltid en högre koncentration av släckmedel för att släcka en förblandad flamma vid stökiometri än för att släcka motsvarande diffusionsflamma. Den kraftiga turbulensen i normala diffusionsflammar gör dem ofta lätta att störa. Det blir emellertid betydligt mer kostsamt att dimensionera efter inerteeringsgränsen för fasta släcksystem mot diffusionsflammar.

Enklare termisk teori

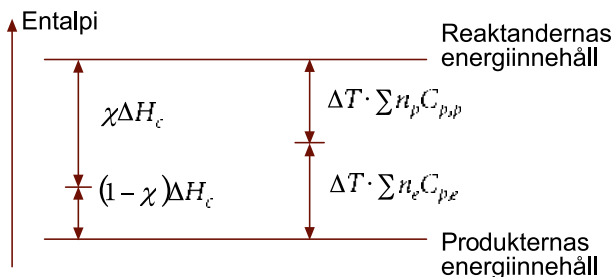
Även den termiska släckteorin för diffusionsflammar använder sig av begreppet adiabatisk flamtemperatur vid släckgränsen. För diffusionsflammar antas dock den adiabatiska flamtem-

peraturen vara något högre då diffusionsflammar har större värmeförluster än förblandade flammar. Temperaturen är beräknad med utgångspunkt från experimentellt uppmätta släckkoncentrationer och blir lika för alla inertgaser. Halonerna, som har en kemisk släckeffekt, får en något högre temperatur.

Utan förluster går all utvecklad energi åt att värma upp förbränningsprodukterna och släckmedlet, på samma sätt som för den förblandade flammen.

$$\Delta H_c = \Delta T \sum n_p C_{p,p}$$

En minskad koncentration släckmedel för att ge släckning innebär en ökning av den adiabatiska flamtemperaturen för att värmebalansen ska bestå. Den verkliga flamtemperaturen blir dock inte högre för diffusionsflammar än för förblandade flammar. Det är istället den utvecklade värmeeffekten som minskar då förbränningen inte är fullständig. Att variera den adiabatiska flamtemperaturen är alltså ett sätt att laborera med verkligheten.



6.17 Entalpidiagram för icke adiabatisk flamma.

Släckmedel	Uppmätt släckkoncentration [vol%]	Beräknad adiabatisk flamtemperatur [K]	Beräknad släckkoncentration [vol%]
Kväve	30,0	1880	29,8
Koldioxid	21,0	1880	20,7
Argon	40,5	1880	40,1
Halon 1301	3,5	2 100*	3,5
Halon 1211	4,4	1993*	4,6

* Att den adiabatiska flamtemperaturen blir högre än för inertgaserna återspeglar inte den verkliga flamtemperaturen, utan är ett sätt att hantera halonernas kemiska släckeffekt.

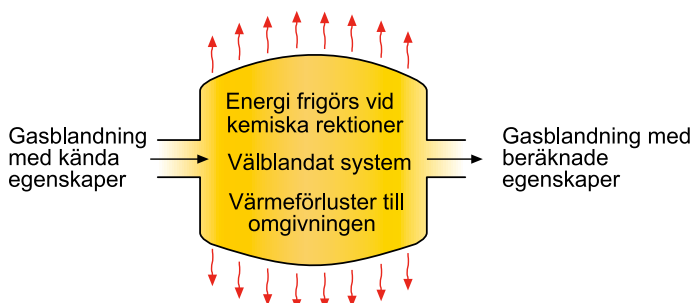
6.18 Förutsägelser av släckkoncentrationer för en diffusionsflamma från heptan. (Ewing m.fl., 1994)

Teorier på molekylnivå

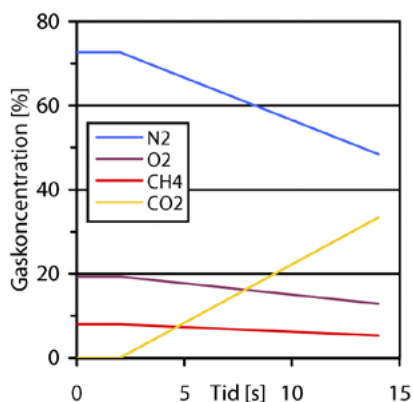
De förenklade termiska teorierna för såväl förblandad som diffusionsflamma, ger adiabatiska flamtemperaturer vid släckgränserna som är långt över de verkliga temperaturerna i flammor. För att få en djupare förståelse av varför den adiabatiska flamtemperaturen vid släckgränsen är relativt oberoende av både inert släckmedel och bränsle och hur de kemiskt aktiva släckmedlen verkar, måste reaktionerna studeras på molekylnivå.

I en detaljerad reaktionskinetisk studie av inerteringsgränsen för metan ersattes flamzonen med en välblandad inneslutning. Exemplet inklusive figurer bygger på Tuovinen, (1989). Studien behandlar endast släckmedlens gasfasverkan. För inneslutningen simulerades att en gasblandning utan släckmedel antändes genom att begynnelsetemperaturen sattes till 2 000 K.

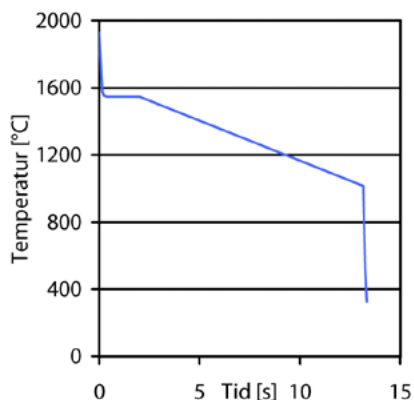
6.19 Luft, bränsle och släckmedel kommer in från vänster till den välblandade inneslutningen. Reaktionsprodukter och släckmedel lämnar inneslutningen till höger. Värme förloras genom strålning från koldioxid och vattenånga.



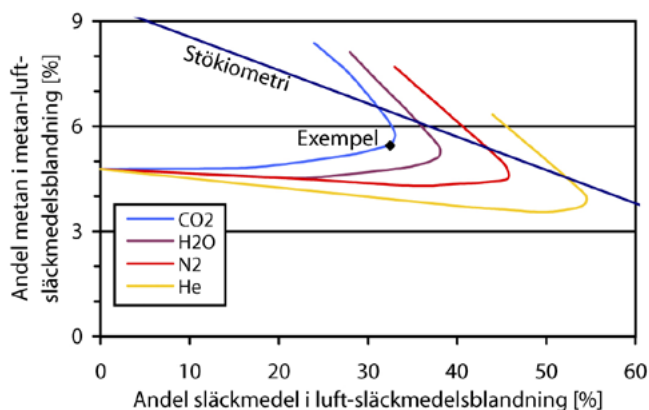
Sedan tillfördes en rumstempererad blandning av metan och luft från start (0 s) till 2 s. Genomströmningstiden i reaktorn var 0,5 s. Efter 2 s började den inströmmande gasen spädas med en inert gas. Halten inertgas ökades linjärt med tiden till dess blandningen blev obrännbar. I det första diagrammet visas de inströmmande gaskoncentrationerna vid simulering med koldioxid som släckmedel. Temperaturdiagrammet visar hur reaktorn reagerar på koncentrationsändringen.



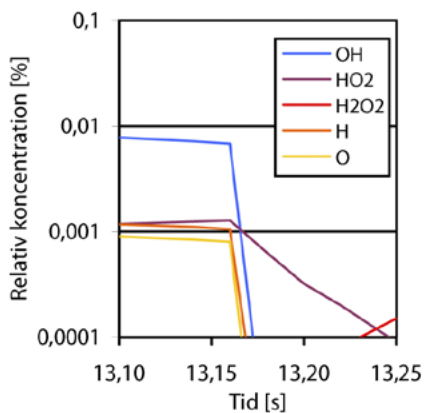
6.20 Gaskoncentrationerna i inströmmen till reaktorn som funktion av tiden.



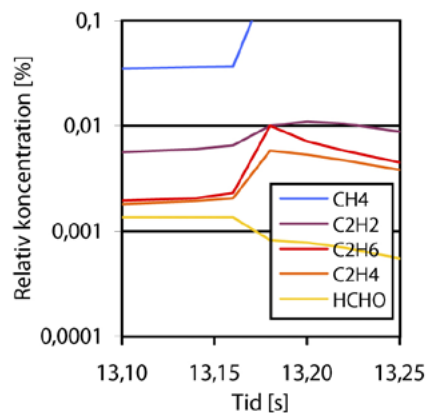
6.21 Reaktortemperaturen som funktion av tiden ($\phi = 0,83$).



6.22 Simulerade brännbarhetsgränser för metan i blandning med luft och inerta släckmedel.



6.23 Radikalkoncentrationen nära släckning med koldioxid ($\phi = 0,83$).



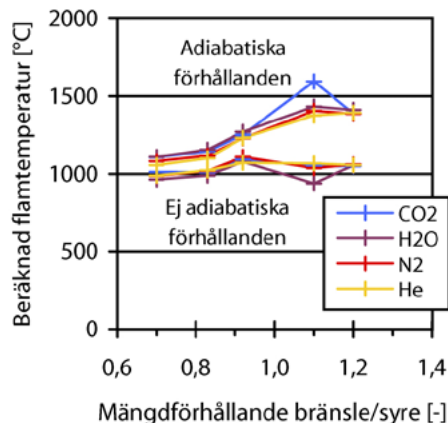
6.24 Koncentrationen större molekyler nära släckning med koldioxid ($\phi = 0,83$).

ϕ -värdet (fi-värdet) anger mängdförhållandet mellan bränsle och syre. Vid $\phi > 1$ finns ett bränsleöverskott och vid $\phi < 1$ finns ett syreöverskott. Vid $\phi = 1$ är bränsle och syre i balans.

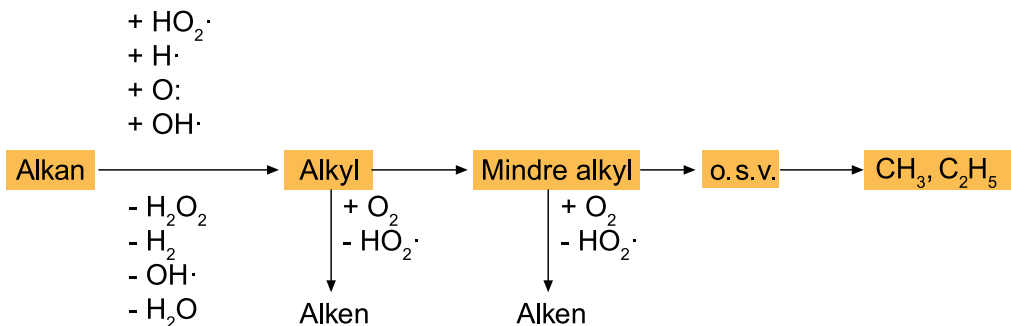
Temperaturen i inneslutningen stiger snabbt efter antändning för att sedan nå stationära, icke adiabatiska, förhållanden efter några tiondels sekund. När släckmedlet börjar tillföras sjunker temperaturen med ökad inblandning. När inblandningen blivit så hög att flamtemperaturen sjunkit till cirka 1 000 °C (1 300 K) slocknar flammen. Temperaturgränsen är i stort sett oberoende av uppehållstiden i inneslutningen och av hur snabbt släckmedlet tillfördes. Genom att simulera olika förhållanden mellan bränsle och luft kunde brännbarhetsgränsen för olika släckmedel erhållas. Likartade kurvor fås då som den adiabatiska teorin ger. En väsentlig skillnad är dock att flamtemperaturen vid släckgränsen är avsevärt lägre än den adiabatiska.

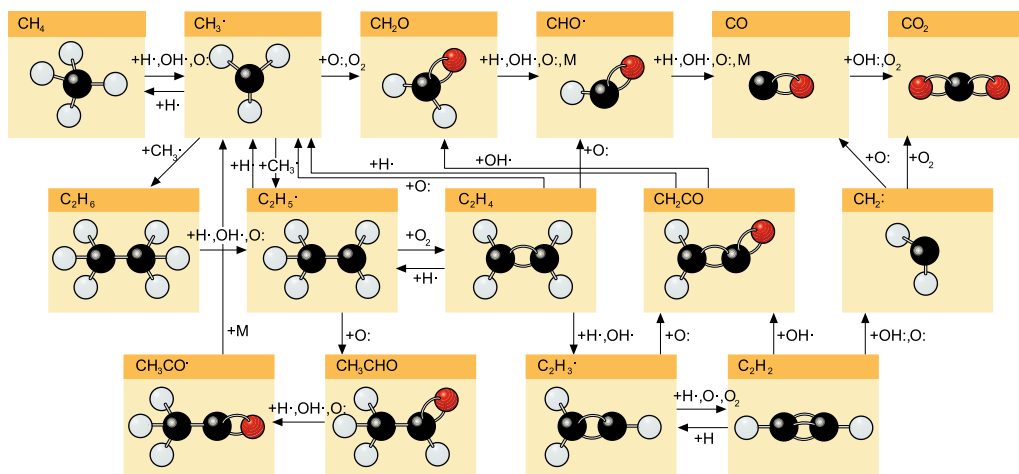
Simuleringarna ger även sammansättningen av de förbränningsprodukter som lämnar reaktorn, både radikaler och större molekylfragment.

6.25 Beräknade ej adiabatiska och adiabatiska temperaturer vid släckgränsen. Den ej adiabatiska temperaturen tar hänsyn till värmeförluster och ligger därför nära den verkliga temperaturen.



6.26 Principen för nedbrytning av större molekyler.



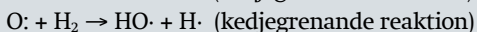
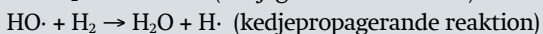


6.27 Huvuddragen hos reaktionsvägarna vid förbränning av en metanmolekyl.

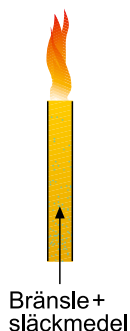
Nedbrytning av molekyler

Vid relativt låga temperaturer börjar många bränslen brytas ned till mindre molekyelfragment, till exempel metan. Den större delen av energin utvecklas när dessa små fragment reagerar till koldioxid och vatten. Många av reaktionerna då metan oxideras är alltså betydelsefulla även vid förbränning av större molekyler. Reaktionsmönstret är mycket komplext även för de enklaste kolväteföreningarna och det är många olika ämnen inblandade i de kemiska reaktionerna.

Vid högre temperaturer (med lite släckmedel) följer reaktionerna i huvudsak den övre vägen i figuren som visar metanmolekylens nedbrytning. När släckgränsen närmar sig blir koncentrationen av radikaler ($\text{H}\cdot$, $\text{HO}\cdot$, $\text{O}\cdot$) så låg att andra reaktionsvägar börjar att dominera. Då börjar större molekyler att produceras. Dessa reaktioner leder inte till någon större värmeutveckling, temperaturen sjunker ytterligare och reaktorn slocknar. Det som håller uppe radikalkoncentrationen i flammen är framförallt reaktionerna:



Dessa reaktioners hastighet minskar kraftigt vid temperaturer nära släckgränsen och de är betydelsefulla för reaktioner med alla kolväten. Därför blir den adiabatiska flamtemperaturen vid släckgränsen i stort sett lika för olika kolväten. Den är alltså i stort sett oberoende av vilket kolvätebränsle som väljs.

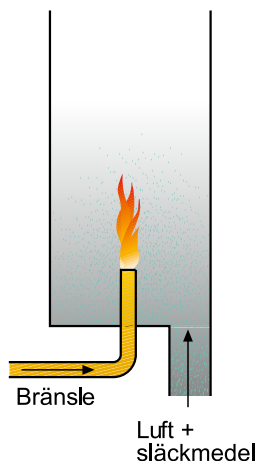


Dessa radikaler är också förklaringen till varför inte de enklare teorierna stämmer för exempelvis väte och kolmonoxid.

Kemiskt aktiva släckmedel verkar genom att de innehåller atomer som binder radikaler och bildar stabila produkter i en kedjeterminerande reaktion. Exempel är ämnen som innehåller klor, brom och jod som snabbt kan reagera med en H-radikal och bilda HCl, HBr respektive HI. Därmed sänks radikalkoncentrationen vilket bidrar till släckningen. Klor, brom och jod är därför vanliga beståndsdelar i kemiskt aktiva släckmedel, till exempel i olika flamskyddsmedel eller i de numera förbjudna halon 1301 och halon 1211.

Den termiska släckeffekten är viktigast även hos släckmedel med kemisk släckverkan. Detta beror på att ämnena ofta har en utmärkt värmelagringsförmåga. Det går alltså åt mycket energi för att värma upp den termiska lasten.

Höga koncentrationer av ämnen med positiv eller negativ laddning innebär att man - åtminstone i teori och småskaliga demonstrationer - kan släcka flammor genom att utsätta dem för ett elektriskt fält och på så sätt dela upp gasmassan i dess komponenter. De kan då inte reagera med varandra och flammen slocknar.



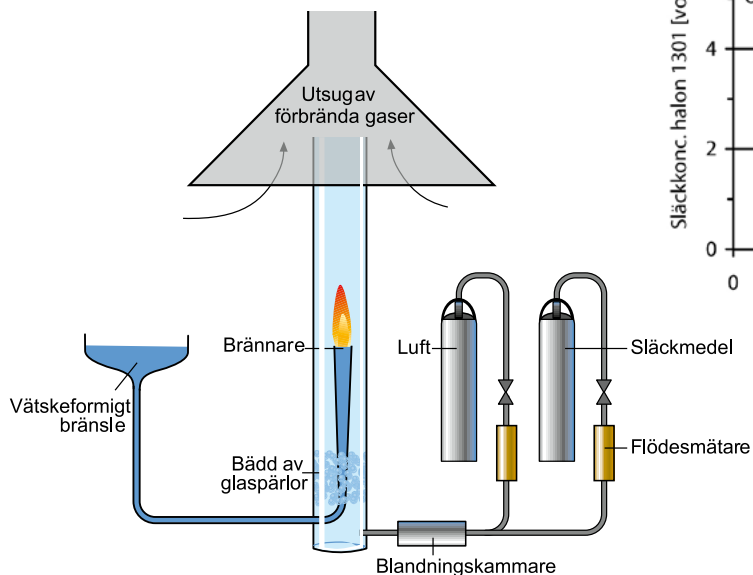
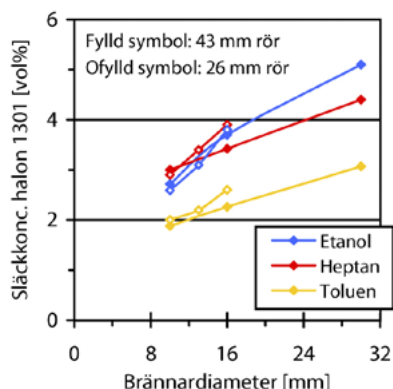
6.28 Olika försöksuppsättningar för studium av släckning av diffusionsflammar. Släckmedlet blandas antingen med bränslet (överst) eller med luften (nederst).

Släckkoncentrationen beror av mätutrustningen

Vid experimentella studier av släckning av diffusionsflammar leds vanligen den brännbara gasen till en rörbrännare eller en porös brännare. Släckmedlet kan antingen tillsättas luften eller blandas med bränslet.

Den vanligaste metoden att studera olika släckmedels effektivitet att släcka små flammor är genom att använda en så kallad cup burner, där släckmedlet blandas med luft och får strömma förbi en brännare. Metoden är billig och kräver liten släckmedelsmängd. Nackdelen är att det finns många olika varianter som delvis ger olika resultat. En annan svaghet är att det är svårt att överföra resultaten från småskaliga försök till stor skala. Både skillnader mellan laminära och turbulenta flammor och skillnader i värmebalans måste beaktas.

Släckkoncentrationen för gasformiga bränslen är i alla cup burners beroende av bränsleflödet. För vätskeformiga och fasta bränslen blir situationen mer komplex. Försöksresultatet beror exempelvis av höjden och diametern av brännaren, diametern på det yttre röret, operatören m.m. Apparats konstruktion



6.29 (ovan) Ett exempel på hur resultatet varierar beroende på provutrustningen (enligt Saso m.fl., 1993). Den uppmätta släckkoncentrationen beror av bränslets avbrinningshastighet, som i sin tur beror av brännardiametern.

påverkar cup burner-värdet. Om brännardiametern exempelvis ökas från 10 mm till 30 mm ger detta för vissa bränslen en fördubbling av släckmedelsåtgången. Det är därför inte särskilt förvånande att cup burners i olika internationella standarder korrelerar dåligt och att skillnader i cup burner-data på 50 % redovisats. Cup burner-data varierar därför avsevärt mer än experimentella data för inerteringsgränser. Detta medför att den dimensionering av koncentrationer för rumsskydd som utgår från cup burner-resultat är behäftad med osäkerheter.

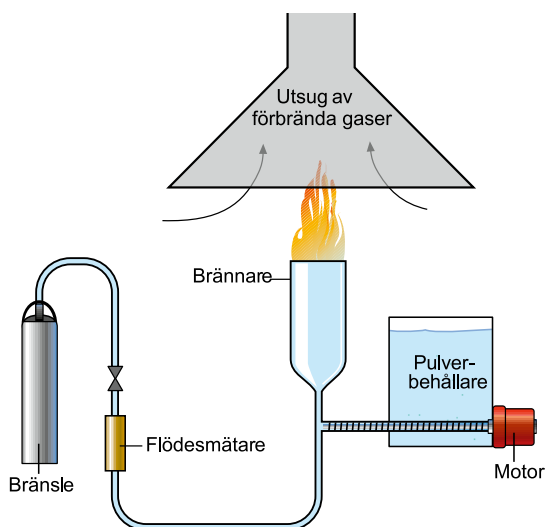
REMP-värde

Vatten och pulverformiga släckmedel kan inte blandas effektivt med luft. För att lösa detta problem och för att kunna studera släckning av stora flammor med effektutveckling över 100 kW utvecklades tubular tube-metoden. Metoden var ursprungligen tänkt för studier av släckning av jetflammar med vatten efter rörbrott i system med brännbar gas, exempelvis naturgas. Metoden utvecklades senare till att även omfatta släckning med pulver av tyngdkraftkontrollerade diffusionsflammar.

Förhållandet mellan brandens effektutveckling och släckmedlets påföringshastighet kan bestämmas med provnings-

6.30 (till vänster) Cup burner med vätskeformigt bränsle och gasformigt släckmedel.

6.31 Exempel på konstruktion hos tubular tube-brännare, här med gas som bränsle och pulver som släckmedel.



metoder där påföringen optimerats och gjorts oberoende av manuell påverkan. I brännarmetoden påförs släckmedlet till en propanlåga. Resultatet från en sådan test anger släckmedlets gasfasverkan som ett REMP-värde, Required Extinguishing Medium Portion. Det anger massförhållandet vid släckning mellan släckmedel och bränsle, vanligen propan.

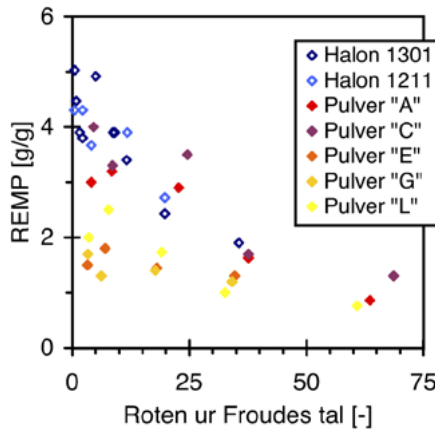
$$\text{REMP} = \dot{m}_e / \dot{m}_f$$

REMP-värdet 1 innebär att 1 g/s släckmedel kan släcka en propanflamma med massflödet 1 g/s. Detta bränsleflöde ger ungefär effekten 40 kW. REMP-värdet är ett effektivt hjälpmedel för att uppskatta hur stor brand som kan släckas med exempelvis olika handbrandsläckare. Ett bra släckmedel har ett lågt REMP-värde.

Olika släckmedel har olika REMP-värde och är alltså olika effektiva per vikt. Vattens REMP-värde är som bäst 1–2. Då är vattendropparna så små, ca 0,05 mm, att allt vatten har möjlighet att förångas (Andersson m.fl. 1996). Vanligtvis förångas endast en liten del av vattnet i flammorna varför REMP-värdet kan stiga. Även vid REMP-värden om 10–40 är dock vattnet fortfarande relativt effektivt utnyttjat.

De bästa pulversorterna har ett REMP-värde på 1,0–1,5. REMP-värdet beror av kornstorleken. Ju finare pulvret mals, ner till cirka 10 µm i diameter, desto effektivare blir det.

REMP-värdet för halon 1301 och 1211 är ungefär 4–5 och för inertgaser och de flesta halonersättningsmedel cirka 10–15.



6.32 REMP-värdet påverkas av Froudes tal. Här visas data för några olika pulversorter samt för halon vid experiment i tubular tube-brännare, från Holmstedt m.fl. (1986).

Påverkan av Froudes tal

REMP-värdet är relativt oberoende av effektutvecklingen och brännardiametern, så länge inte Froudes tal, Fr , ändras. Froudes tal är ett dimensionslöst tal som används för att klassificera diffusionsflammar (Holmstedt m.fl. 1986). Det ger ett mått på rörelsemängden hos bränslet i förhållande till tyngdkraften.

$$Fr = Av^2 / gd$$

v [m/s] gasernas medelhastighet i brännaren
 g [m/s²] tyngdaccelerationen
 d [m] brännardiameter

En fördubbling av utströmningshastigheten och därmed av brännareffekten innebär att Froudes tal ökar fyra gånger. Med en blandning av gas och fasta partiklar eller vätskedroppar ingår faktorn A , som definieras:

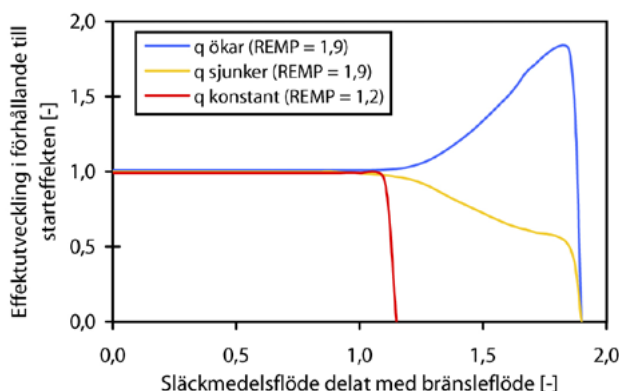
$$A = 1 + \dot{m}_e / \dot{m}_f$$

$\dot{m}_e$ [g/s] massflödet av släckmedel
 $\dot{m}_f$ [g/s] massflöde av bränsle

Är Froudes tal lägre än cirka 500 dominerar tyngdkraften flammans utseende och REMP-värdet är relativt högt. Vid Froudes tal under cirka 100 är REMP-värdet i stort sett konstant. Detta gäller vid de flesta normala bränder.

Om hastigheten hos bränslet ökar och med den Froudes tal, minskar REMP-värdet. Detta gäller till exempel bränder i utströmmande gas. Froudes tal över 10 000 innebär fullt utvecklade jetflammar vilkas skepnad till stor del styrs av gasernas rörelsemängd. För riktigt höga Froudes tal blir flaman instabil och kan självslockna. Sådana jetflammar uppträder normalt endast vid rörbrott i trycksatta system.

6.33 Vissa släckmedel minskar effektutvecklingen i flammen precis före släckning. Andra påverkar inte effektutvecklingen alls. Ytterligare andra gör att effektutvecklingen ökar.



Effektutveckling precis före släckning

Genom att studera effektutveckling och värmestrålning precis före släckning fås information om vad som kan ske om ett släcksystem är underdimensionerat. Tre typiska beteenden hos släckmedel kan urskiljas. En grupp, med halon 1301 och grovmalet pulver sänker effektutvecklingen i flammorna före släckning. Inertgaser och finfördelat vatten påverkar inte effektutvecklingen förrän släckgränsen uppnåtts. Halonalternativ bestående av fluorerade kolväten som innehåller minst en väteatom ökar effektutvecklingen till dess släckning uppnåtts.

Dimensionerande släckmedelsåtgång

Det finns alltid viss osäkerhet vid dimensionering av släcksystem med hjälp av småskaliga metoder. Ur klassificeringssynpunkt för handbrandsläckare används olika vätskebål eller träribbstaplar. Effektutvecklingen från dessa bål varierar mellan några hundra kW till 5–10 MW.

För en handbrandsläckare med pulver eller gasformigt släckmedel kan följande grova samband mellan påföringsmängd och släckförmåga användas:

$$Q = \frac{\dot{m}_e \cdot x \cdot K}{REMP} \Delta H_{c,f}$$

Q [W] möjlig släcke effekt
 $\dot{m}_e$ [g/s] massflöde av släckmedel
 $\Delta H_{c,f}$ [J/g] bränslets förbränningsvärme
 x [-] förbränningseffektivitet
 K [-] effektivitet i släckmedelspåföringen

Ett släckmedels ungefärliga REMP-värde kan även beräknas med utgångspunkt från termisk släckteori. Ett REMP-värde



baserat på inertering av förblandade flammor är cirka 1,5–2 gånger större än vad som behövs för att släcka en diffusionsflamma. Observera att REMP-värdena inte innehåller någon korrektion för brister i distributionen av släckmedlet.

Ett resonemang liknande REMP-konceptet kan användas vid användning av vatten som släckmedel. Genom att jämföra brandens effektutveckling med vattnets förmåga att ta upp energi vid förångning och uppvärmning, kan det nödvändiga flödet bestämmas vid olika brandstorlekar (Särdqvist 1996; Barnett, 1990). För att värma upp vatten åtgår $0,00418 \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C}$, vilket innebär att vatten vid $10 \text{ }^\circ\text{C}$ kräver $0,38 \text{ MJ/kg}$ för att värmas till kokpunkten. Därefter går det åt $2,26 \text{ MJ/kg}$ för att förånga vattnet. Den hundragrådiga vattenångan kräver sedan $0,00201 \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C}$ för ytterligare uppvärmning. Är sluttemperaturen $600 \text{ }^\circ\text{C}$ blir energikravet $1,00 \text{ MJ/kg}$.

Temperaturen i ett rum är vid övertändning i ungefär $600 \text{ }^\circ\text{C}$. För att omvandla vatten vid $10 \text{ }^\circ\text{C}$ till ånga vid $600 \text{ }^\circ\text{C}$ går det åt $0,38 + 2,26 + 1,00 \text{ MJ}$, totalt $3,6 \text{ MJ}$. Ungefär 45 % av den utvecklade energin behöver kylas bort från flammorna. Med propan

6.34 En större pulver-släckare har ett pulver-flöde om ungefär 400 g pulver per sekund. Om REMP-värdet är 2, blir släckförmågan ungefär 8 MW. Detta motsvarar en bensinbrand med ytan 4 m^2 . Bensin brinner av med drygt 4 mm/min , vilket ger en effektutveckling om cirka 2 MW/m^2 .

Släckmedel	REMP-värde
Pulver	1–4
Vatten	2–40 ¹
Inertgaser	10–12
Haloner	4–5

1. Varierar kraftigt med dropstorleken

6.35 REMF-värde vid effektiv påföring av några olika släckmedel.

som bränsle kan den beräknade släckeffekten användas för att göra en grov uppskattning av vattnets släckeffekt uttryckt som ett REMF-värde:

$$REMP = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_f} = \frac{\Delta H_{c,f}}{\Delta H_v} = \frac{40}{3,6/0,45} = 5$$

Resonemanget bakom denna uppskattning av vattens REMF-värde kan utvecklas ytterligare, för praktisk användning vid dimensionering av insatser med vatten.

Vid väl använt vatten är effektivitetsfaktorn i storleksordningen 0,3 (Barnett, 1990). Det innebär att REMF-värdet ökar till ungefär 17 och att varje liter vatten klarar att släcka 2,4 MW. Ett strålrör med flödet 5 l/s skulle därmed kunna hantera en brand i storleksordningen 12 MW. Problemet att släcka en så stor diffusionsflamma manuellt är att täcka in hela flammen, vilket gör att den praktiska släckeffekten minskar. Detta kompenseras av att det vatten som inte förångas, och därmed deltar i släckprocessen i flammorna, ofta träffar bränsleytan och släcker via andra mekanismer.

Dimensionering med hjälp av REMF-värden kan göras för manuell brandsläckning och för punktskydd. Däremot kan inte REMF-värdet användas för dimensionering av rumsskydd där hela rummet förses med släckmedel oberoende av hur stor branden är och var den startade. Då kan dimensionering utifrån fullskaleförsök vara en framkomlig väg. Försöksupställningen bör efterlikna förhållandena där släcksystemet ska installeras, med olika bränslen och olika förbrinntid. Resultaten från fullskaletester i rum har tyvärr en del svagheter. Släckresultatet beror på situationen, bland annat brandens storlek och placering i förhållande till munstyckena. Fördelningen av släckmedel i rummet är ofta ojämn. En stor brand kan själv-slockna när syrekonzentrationen sjunker och brandgaserna återcirkuleras. Utvärderingen av fullskaliga släckförsök och överföring av släckresultat till andra scenarier än det som testades är därför ofta problematiskt.

I litteraturen förekommer en mängd data om släckmedel avseende erforderlig koncentration för släckning av diffusionsflammar. De vanligaste är cup burner-data, REMF-värde och data från fullskaleförsök. Behovet av släckmedel varierar dock

Släckmedel	Cup burner [vol% släckmedel i släckmedel- luft-blandning]	Cup burner [gram släckmedel per mol luft]	REMP-värde [gram släckmedel per gram bränsle]
Pulver	–	1–2	1–4
Vattendimma (10 mm)	–	3–4	2–3
Halon 1301	5	5,5	4–5
HFC-gaser	7–10	10–12	10–15
Koldioxid	20–23	11,8	10–12
Argon	30	12	12–15

6.36 Ungefärligt släckmedelsbehov för släckning av diffusionsflammar.

med bränslet. Vid dimensionering måste därför beaktas vilka bränslen som är aktuella.

Här jämförs släckmedlens släckkoncentrationer och effektivitet per viktsenhet. Data är hämtade från både cup burners, tubular tube-burners och fullskaliga försök. Cup burner-värdena är avsevärt lägre än motsvarande data för inertering av en förblandad gasblandning.

Släckning av diffusionsflammar genom ytverkan

Endast en mindre del av det använda släckvattnet går åt för att kyla brandgaser och vid rökdykarinsatser för att möjliggöra inträngning. Den största delen går åt till ytkylning av bränsleytor, vilket också bekräftas av experiment med manuella släckinsatser (Palm, 2000).

Kritisk vattenpåföring

Det för släckning nödvändiga vattenflödet ökar med extern strålning och balanseras av vattnets förångningsvärme (Rasbach 1986). Energin som krävs för att värma och förånga vatten från 10 °C till ånga vid 100 °C är 2 640 kJ/kg. Det innebär att 1,0 kg/m²s vatten som träffar ytan och förångas utjämnar en yttre strålning om 2 640 kW/m². Om endast denna värmebalans beaktas, kräver strålningsnivån 10 kW/m² en vattenpåföring om 0,0038 kg/m²s högre än utan strålning.

Kritisk släckmedelspåföring kallas det minsta flödet av släckmedel som krävs för att släcka en brinnande yta, med



6.37 Släcktiden blir lång med för liten släckmedels-påföring, eller om på-föringen är felplacerad.

oändlig tid tillgänglig. Detta flöde har för vatten uppskattats till ca $0,0002 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (Heskestad, 1980). Vattenflödet är räknat per exponerad bränsleyta och har tagits fram vid experiment där ca 1 m höga träribbstaplar släcktes under kontrollerade former. Gasfasverkan var liten, då vattendropparna var stora. Detta flöde bekräftas av Fire Point-teorin. Experimentella data varierar annars mellan $0,0013\text{--}0,0030 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Skillnaden beror förmodligen på brister i försöksuppställningar och datainsamlingar, men också på hur lång den "oändliga" släcktiden är.

Fire point-teorin

Vid släckning av diffusionsflammar kylls ofta både flammorna och bränsleytan. Dessutom medför en sänkning av flammtemperaturen att värmestrålningen mot den brinnande ytan minskar. Detta innebär att mängden pyrolysgaser från ytan minskar. För dessa fenomen utvecklades Fire point-teorin, som bygger på en energibalans i bränsleytan under släckförloppet. (Rasbach, 1976; Beyler, 1992; Delichatsios, 1997)

Energibalansen vid en bränsleyta kan beskrivas som

$$L_v m'' + Q_L'' + Q_v'' = f \Delta H_c m'' + Q_E''$$

vilket är samma sak som

$$(f \Delta H_c - L_v) m'' + Q_E'' - Q_L'' - Q_v'' = 0$$

f [-] andel av den utvecklade energin som återförs till ytan

ΔH_c [J/kg] bränslets förbränningsvärme

L_v [J/kg] bränslets förångningsvärme

m'' [kg/m²s] massavbränningshastighet

Q_E'' [W/m²] extern strålning till ytan från omgivningen utom flammorna

Q_L'' [W/m²] förluster från ytan

Q_v'' [W/m²] kylning av ytan genom vattenpåföring

Släckvillkoret uppfylls då flammor inte längre kan vidmakthållas över ytan. Släckningen av en diffusionsflamma kan beskrivas med hjälp av den andel av den utvecklade energin, ϕ , som måste bortföras för att flammen ska slockna. För både förblandade och diffusionsflammar kan denna värmemängd

anges med antagandet om en fix adiabatisk flamtemperatur vid släckgränsen. För förblandade flammor måste cirka 45 % av det utvecklade värmets tas upp av släckmedlet eller kylas bort på annat sätt. För diffusionsflammor är andelen mindre, vanligen i storleksordning 10–40 %. För kemiskt aktiva släckmedel minskar ϕ .

Flammorna strålar allt mindre och kryper närmare bränsleytan när släckgränsen närmar sig. Nära släckgränsen kommer strålningen från flammorna att bli mycket liten. Under detta tillstånd domineras värmeöverföringen från flaman till bränsleytan av konvektion. Energibalansen vid släckgränsen blir då med ϕ insatt i stället för f

$$(\phi \Delta H_c - L_v) m''_{cr} + Q''_E - Q''_L - Q''_v = 0$$

m''_{cr} [kg/m²s] kritiska massflödet av bränsle vid släckning.

Massflödet av bränsle bestäms av den konvektiva värmeöverföringen. För beräkning av konvektiv värmeöverföring till en förångande yta används den så kallade B-tals-teorin. Där ges den kritiska massavbrinningshastigheten. (Spalding, 1955)

$$m''_{cr} = h / c_p \ln(1 + B_{cr})$$

$$B_{cr} = Y_O \Delta H_{R,O} / (\phi \Delta H_c)$$

B_{cr} [–] Förhållandet mellan den energimängd som frigörs och den som används för förångning av bränsle

Y_O [–] massfraktion syrgas

$\Delta H_{R,O}$ [kJ/g] frigjord energimängd per massa förbrukat syre

Dessa beteckningar kan införas i energibalansen vid ytan:

$$(\phi \Delta H_c - L_v) \left[h / c_p \ln(1 + Y_O \Delta H_{R,O} / (\phi \Delta H_c)) \right] + Q''_E - Q''_L - Q''_v = 0$$

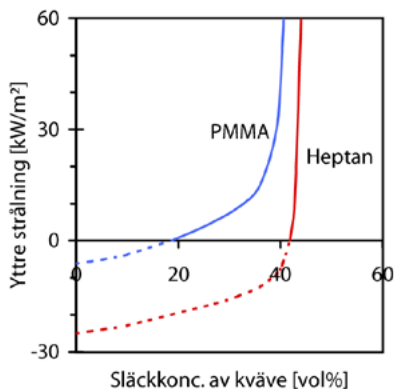
Ekvationen, ibland kallad Fire point-ekvationen, innehåller lyckligtvis många konstanter, exempelvis termerna h , c_p , $\Delta H_{R,O}$, ΔH_c och L_v som beror av bränslet.

Om vatten används som släckmedel blir värmeförlusten på grund av detta, om energin för att värma upp vattnet till kokpunkten försummas,

$$Q''_v = c_v m''_{cr,v} L_{v,v}$$

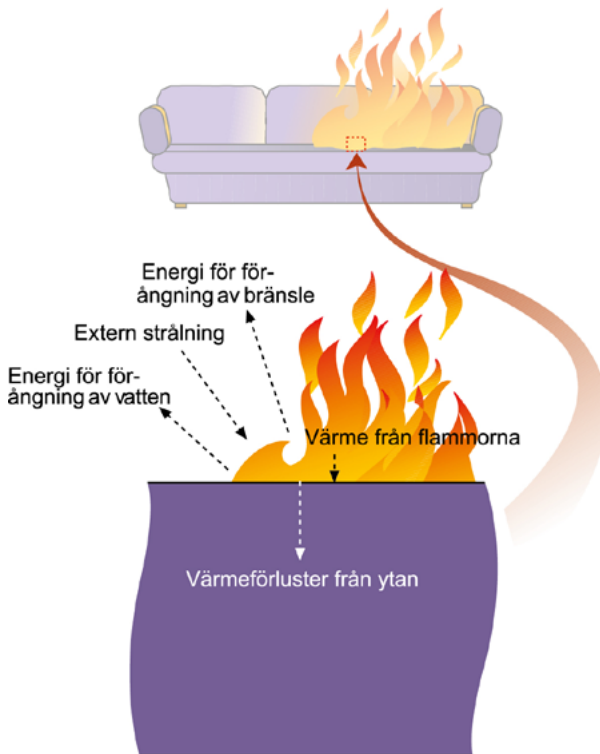
$L_{v,v}$ [kJ/kg] vattnets förångningsvärme

c_v [–] andel av vattnet som når och förångas vid bränsleytan



6.38 (ovan) Den nödvändiga släckmedelskoncentrationen, beräknad med hjälp av Fire Point-teorin, varierar med den yttre strålningsnivån. Den är olika för olika bränslen. Vid höga strålningsnivåer närmar sig koncentrationen inerteringsgränsen.

6.39 (till höger) Energi-balansen för en brinnande yta vid en rumsbrand.



Genom att lösa ut den yttre strålningen ur Fire point-ekvationen fås

$$Q_E'' = c_v m_{cr,v}'' L_{v,v} - (\phi \Delta H_c - L_v) \left[1 / c_p \ln(1 + Y_O \Delta H_{R,O} / (\phi \Delta H_c)) \right] + Q_L''$$

Ekvationen beskriver ett linjärt förhållande mellan yttre strålning och vattenbehov. Riktningkoefficienten är $c_v L_{v,v}$ och allt till höger om minustecknet anger skärningen med Y-axeln. Experiment ger resultat som styrker teorin. I verkliga fall är det svårt att tillföra så lite vatten att allt förångas på ytan, c_v är därför i många fall liten. Ekvationen innebär att släckkoncentrationen för diffusionsflammar även beror av den externa strålningen.

Genom att anta rimliga värden kan den kritiska vattenpåföringen beräknas. (Särdqvist & Holmstedt, 2001) Om trä brinner under normala förhållanden, blir ΔH_c ungefär 13 MJ/kg och L_v 1,8 MJ/kg.

Med en antändningstemperatur om 385 °C blir det konvektiva värmeövergångstalet, h , cirka 10 W/m² K och c_p 1,06 kJ/kg K. Vid välventilerade förhållanden är Y_O 0,233. Syrehalten måste dock minskas på grund av förångande vatten.

$$Y_O = \frac{\dot{m}_o''}{\dot{m}_{v,cr}'' + \dot{m}_f'' + \dot{m}_o'' + \dot{m}_{N_2}''}$$

Vid ett småskaligt experiment med spånskiva var skivans bränsleförlust 0,0055 kg/m²s. Den kemiska summaformeln för trä är ungefär CH_{1,7}O_{0,85}, med molekylvikten 0,027 kg/mol. Vid stökiometri kräver en mol trä 1,02 mol syre för förbränning. Därmed kan syrehalten justeras

$$Y_O = \frac{\frac{0,0055}{0,027} \cdot 1,02 \cdot 0,032}{\dot{m}_{v,cr}'' + 0,0055 + \frac{0,0055}{0,027} \cdot 1,02 \left(0,032 + \frac{0,79}{0,21} \cdot 0,028 \right)}$$

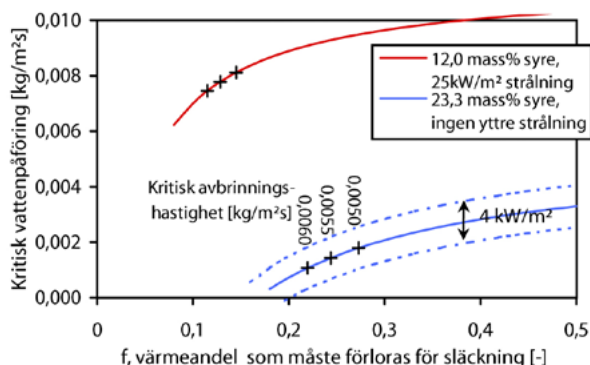
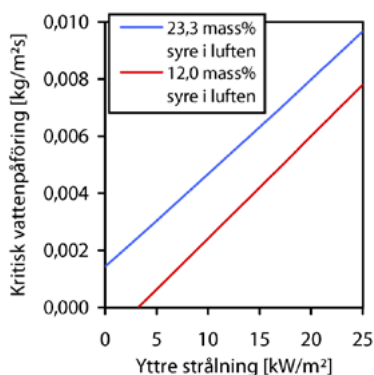
$\Delta H_{R,02}$ för trä är 12,4 MJ/kg. Om bränsleytans återstrålning och förluster från bränsleytan försummas, blir q_L den energi som leds vidare in i bränslet

$$\dot{q}_L'' = \lambda \frac{dT}{dx}$$

Konduktiviteten, λ , är temperaturberoende och är för trä vid antändningstemperaturen 0,2 W/mK. dT/dx har beräknats till cirka 330 K/0,010 m. Detta ger en grov uppskattning av $\dot{q}_L''$ till 6,5 kW/m². Data angående c_p finns inte tillgängliga, men den lägsta vattenpåföringen fås om vi försummar förluster. $L_{v,w}$ energin för att värma upp vatten från 10 °C till 100 °C och för förångning, är 2640 MJ/kg. Relationen mellan den kritiska vattenpåföringen, $\dot{m}_{v,cr}$ och ϕ blir

$$\dot{m}_{v,cr}'' = \frac{(\phi \cdot 13,0 - 1,3) \left[\frac{10}{1} \ln \left(1 + \frac{Y_{O_2} \cdot 12,4}{\phi \cdot 13,0} \right) \right] - 6,5}{1 \cdot 2640} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Med dessa antaganden kan syrekonzentrationen och det kritiska vattenflödet interpoleras fram. Syrehalten minskar till ungefär 16 %. Normalt är ϕ 0,1–0,4. Termen med hakparantes är bränslets kritiska massavbränning, bevisligen också länkad till f . Värdet på bränslets massavbränningen som använts i beräkningarna, 0,0055 kg/m²s, finns visat i den vänstra figuren, tillsammans med ett 0,001 kg/m²s spann. Denna massavbränning ger en kritisk vattenpåföring om cirka 0,0014 kg/m²s, med ovan givna förutsättningar. Detta är i överensstämmelse med experimentella data. Några uppskattningar är grova, exempelvis $\dot{q}_L''$. I figuren visas effekten av en ändring med 2 kW/m². Det är också värt att notera att värmeförlusterna in i materialet beror på bränslets termodynamiska egenskaper.



6.40 (till vänster) Relationen mellan ϕ och den kritiska vattenpåföringen.

6.41 (ovan) Vattenbehovet ökar med strålningen. Med lägre syrekonzentration blir vattenbehovet mindre.

Det förångade vattnet kommer att påverka gasernas sammansättning ovanför bränsleytan. Det förångade vattnet minskar därför syrekonzentrationen, vilket påverkar den nödvändiga mängd vatten som åtgår för släckning. Figuren bygger på exemplet och innehåller en linje som visar förhållandet mellan strålningsnivå och vattenbehov för trä vid välventilerade förhållanden och en linje som visar vattenbehovet vid övertändning om 25 kW/m^2 strålning läggs till, samtidigt som syrehalten minskas till 12 % (innan korrektion för vattenånga) på grund av brandgasrecirkulation.

Motsvarande resonemang kan även användas vid en situation med ren gasfasverkan för att visa hur koncentrationen av släckmedel vid släckgränsen varierar med extern strålning för diffusionsflammar.

Släckmedel	$\text{l/m}^2\text{min}$
Vatten (sprinkler)	5–30
Vatten (manuellt)	9–15
Lättskum	1–2 ¹
Mellanskum	2–3 ¹
Tungskum	4–6 ¹

1. Uttryckt som vatten/skumvåtskeblandning

6.42 Några typiska påföringshastigheter för våtskeformiga släckmedel.

Dimensionering av släckinsatser

Släckinsatser med vatten eller skum anges ofta i form av en påföringsmängd per brandyta i $\text{l/m}^2\text{min}$, då ytverkan är viktigast hos dessa släckmedel. Värdena inkluderar normalt en säkerhetsmarginal.

Det är viktigt att notera att påföringshastigheten är angiven utifrån golvytan eller den horisontella brandytan. I experimentella sammanhang används ofta bränsleytan i stället, vilken kan vara avsevärt större. Brandens effektutveckling per m^2 varierar kraftigt, mellan cirka $100\text{--}4\,000 \text{ kW/m}^2$, vilket är ett av skälen till att intervallen för påföringshastigheter är ganska stora.

Glödbränder

Brand kan i vissa material utvecklas till djupa glödbränder. En glödbrand utgörs inte av en gasfasreaktion utan av reaktioner vid bränsleytorna i det sönderdelade materialet. För ytreaktioner hjälper det inte att sänka temperaturen i gasfasen ovanför ytan. I stället måste luften ha en släckmedelskoncentration över inerte-ringsgränsen under en så lång tid att brandhärden hinner svalna.

Vid en glödbrand är flammorna av underordnad betydelse. I stället är det kemiska reaktioner inne i bränslet som är av intresse. Detta är väsentligt oavsett om branden sker i trä med ett ytligt kolskikt eller djupt inne i en hög med torv som självantänd.

Glödbränder, framförallt djupa glödbränder i lagrat material drivs av nedbrytningsprocesser i materialet, ofta utan nämnvärd inblandning av luftens syre. Vid dessa reaktioner frigörs inte särskilt mycket av bränslets energiinnehåll. Å andra sidan fungerar det omgivande bränslet som en isolerande termos. Den lilla energimängd som frigörs stannar kvar i materialet och leder till att temperaturen höjs. Denna effekt är en av huvudorsakerna till självantändning som fenomen. Samtidigt som materialet isolerar, frigörs värme inne i materialet, vilket leder till att temperaturen höjs. Självantändning behandlas dock i andra sammanhang (t.ex. Beever, 1995).



6.43 Djupa glödbränder är ofta inneslutna i så mycket material att de likt innehålllet i en termos är isolerade från omgivningen. De blir därigenom mycket svårsläckta.

Dimensionering av släckinsatser vid glödbränder

I och med att brandhärden ligger inne i materialet vid djupa glödbränder, blir denna typ av bränder svårsläckta. Materialet runt om brandhärden kommer att skydda mot de flesta kända släckmedlen. Skum kommer att lägga sig på ytan av materialet med liten effekt. Vatten kommer antingen att rinna av eller sugas upp av omkringliggande material, men förmår inte att tränga ner ordentligt. Ytspänningssänkande medel kan underlätta inträngningen, men rör det sig om stora djup ner till det brinnande materialet är inte ens detta tillräckligt. De släckmedel som verkar i gasfas är ofta oanvändbara på grund av just detta. Deras släckverkan är i gasfas medan branden fortgår inne i materialet.

Det finns därmed två principiellt olika sätt att släcka en brand i lagrat material. Den ena handlar om att hantera branden genom att flytta bort bränslet, genom lämpning. Först görs en begränsning för att skilja det material som brinner från det material som inte antänts. Eventuellt flyttas det oskadade materialet till en säker plats. Därefter angrips det brinnande partiet genom att det bit för bit flyttas om och släcks av efterhand. Detta är den snabbaste metoden, men den kräver större resurser då branden kommer att blossa upp allt eftersom glödande material friläggs. En variant av denna metod som i praktiken används vid många bränder till exempel i lager är i stället att förhindra brandspridning och att låta det inblandade materialet brinna under kontrollerade former.

Den andra metoden består i att skapa en obrännbar atmosfär runt och i materialet med hjälp av ett gasformigt släckmedel och därefter vänta tills temperaturen har sjunkit. För att denna metod ska lyckas krävs att materialet är tätt inneslutet, exempelvis i en silo, samt att insatsen upprätthålls till dess temperaturen har sjunkit i varje glödhård. Med för låg koncentration eller för kort tid slocknar flammorna, men branden flamar upp då utrymmet öppnas igen. Observera att inerteringsgränsen är temperaturberoende och att temperaturen är förhöjd inne i det glödande materialet. Glödbränder kräver därför en avsevärt högre släckkoncentration under lång tidsperiod. Denna typ av bränder kan liknas vid en kolmila och är lika svåra att släcka, när de väl har börjat glöda.

Vid släckning av glödande pappersbalar i lastrum med koldioxid tog det ett dygn för att åstadkomma släckning med dubbelt så hög koncentration som inerteringsgränsen vid rumstemperatur. Med en koldioxidkoncentration 50 % över inerteringsgränsen tog släckningen två dygn. (Beene & Richards, 1983)

En förutsättning för denna metod är att branden inte orsakats av självantändning. Lagrat material som självantänt har ju redan från början visat sig klara av förbränning utan syretillförsel utifrån.

Under hela släckprocessen måste det finnas beredskap för oväntade händelser. Allteftersom branden fortgår kan det i vissa material bildas håligheter där brännbar gas samlas. När en sådan hålighet rasar samman kan gaserna komma i kontakt med syre och antändas. Raset kan också innebära att ett moln av damm virvlar upp. Reaktionen kan då bli tillräcklig för att taket på en silo ska lyfta eller i värsta fall att silon rämnar. Silobränder behandlas utförligt av Persson (2012).

Vid kolframställning i en mila minskar vedens volym till ungefär hälften under kolningsprocessen. Milan måste då klubbas ihop för att inte håligheter ska bildas. Om håligheter ändå skulle bildas finns risk att milan slår. Det innebär att täcksiktet rasar in. Luften får då tillträde och lågor slår upp. Detta åtgärdas genom att håligheten fylls med ved och ytan åter täcks med stybb, varefter kolningsprocessen fortsätter.

Referenser

- AFS 2007:7, Rök- och kemdykning, 2007, Arbetsmiljöverket.
- AFS 2020:1 Arbetsplatsens utformning, 2020, Arbetsmiljöverket.
- Alvares, N. J. & Lipska, A. E. 1972, "The effect of smoke on the production and stability of high-expansion foam", *Journal of Fire and Flammability*, nr 3, vol 88, 1972.
- Andersson, Petra & Arvidsson, Magnus & Holmstedt, Göran, 1996, *Small scale experiments and theoretical aspects of flame extinguishment with water mist*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Report 3080.
- Andersson, Petra & Holmstedt, Göran, 1999, "Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent", *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 9, nr 4, 1999.
- Arredal, Göran & Nisses, Lars & Sundelius, Mats, 1977, *Skum för brandsläckning*, GIRO-brand AB.
- Barnett, C. R. 1990, *Water supplies for Fire Fighting Purposes, A Civil Engineer's Viewpoint*, opublicerat material, PN 4714.
- Baum, Gary, 2019, *The Potential Reduction of Firefighter Exposure to Carbon-Based Carcinogens in Structure Fires Through the Use of Class A Compressed Air Foam Systems*. Amboy Fire Protection District, IL.
- Beene, David E. Jr & Richards, Robert C. 1983, *Extinguishing deep-seated cargo hold fires with carbon dioxide*, U.S. Coast Guard Research and Development Center, Report CG-D-09-83.
- Beever, Paula F. 1995, "Self-Heating and Spontaneous Combustion", *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Ed. Philip J. DiNenno, 2nd edition, Society of Fire Protection Engineering, USA, sid 2–180–2–189.
- Bengtsson, Lars-Göran, 2001, *Inomhusbrand*, Karlstad: Räddningsverket, U30-611/01.
- Berg, Robert & Godby, Tomas, 1993, *Alternativ till halon*, Stockholm: Svenska brandförsvarsföreningen.
- Bergqvist, Anders, 2000, *Branden i Tauerntunneln*, Karlstad: Räddningsverket, rapport P22-334/00.
- Bergström, Göran, 2001, "Det tog skruv", *Sirenen*, Räddningsverket tidning, nr 3, 2001.
- Beyler, Craig, 1992, "A Unified Model of Fire Suppression", *Journal of Fire Protection Engineering*, 4 (1), 1992, sid 5–16.
- Beyler, Craig, 1995, "Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames", *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Ed. Philip J. DiNenno, 2nd edition, Society of Fire Protection Engineering, USA, sid 2–180 – 2–189, 1995.
- Björk, Lars-Eric m.fl, 1998, *Formler och Tabeller från Natur och Kultur*, Natur och Kultur.

Bobert, Magnus & Persson, Henry & Persson, Bror, 1996, *Skumvätskor viskositet och flödeskaraktäristik*, Karlstad: Räddningsverket, rapport R53-168/96.

Brandförsvar vid elanläggningar, 1987, Stockholm: Svenska Brandförsvarsföreningen, SBFs rekommendationer 6:2 1987,

Brandklass F för fettbränder, information, 2019. Dafo Brand AB.

Brandsjö, Kaare, 2001, "En brandman död och 100-miljoners-skada på grund av för tidig sprinkleravstängning", *Räddningsledaren*, nr 2, 2001.

Brandsläckningspulver, 1998, Dafo brand AB, Information 980308

Brandvattenförsörjning, 1999, Karlstad: Räddningsverket, U26-468/99.

Butterworth, G.J.; Dowling, P.D., 1981, "Electrostatic effects with portable CO₂ fire extinguishers". *Journal of Electrostatics*, Vol 11, Issue 1, Pages 43–55.

CFS, 1962, *Krigsbranddamm södra och norra regionen Volym 400 m³ Mått ritning, 1Y-1-3 F, Förrådsbranddamm Volym 2500 m³ Mått ritning, 1Y-1-7 F*. Civilförsvarsstyrelsen dec 1962.

CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1986, ed. Weast, Robert C. 66th edition, CRC Press, USA.

Delichatsios, M. A. & Delichatsios, M. M. 1997, "Critical Mass Pyrolysis Rate for Extinction of Fires over Solid Materials", *Fire Safety Science, Proceedings of the Fifth International Symposium*, sid 153–164.

de Vries, Holger, 2000, *Brandbekämpfung mit Wasser und Schaum, Technik und Taktik*, ecomed.

Drysdale, Dougal, 1985, *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons.

Eriksson, Lars, 1965, *Släckningsförsök med lättskum 13, 14 och 18 oktober 1965*, Svenska skumsläcknings aktiebolaget.

Eriksson, Lars, 1984, *Skum, släckeffekt, vätskor, generatorer, system, taktik*, Stockholm: Svenska Brandförsvarsföreningen.

Ewing, C. T. & Beyler, C. & Carhart, H. T. 1994, "Extinguishment of Class B Flames by Thermal Mechanisms; Principles Underlying a Comprehensive Theory; Prediction of Flame Extinguishing Effectiveness", *J. of Fire Protection Engineering*, 6 (1), 1994, sid 23–54.

Featherstone, R. E. & Nalluri, C. 1995, *Civil Engineering Hydraulics*, third edition, Blackwell Science.

Fire Research 1955, Report of the Fire Research Board with the report of the director of fire research for the year 1955, 1956, London: HMSO, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices' Committee, Her Majesty's Stationary Office, sid 23–25.

- Freeman, J. R. 1889, *Experiments relating to hydraulics in firestreams*, Trans. Amer. Soc. Of Civil Engr. XXI, (enligt Herterich, 1960)
- Frindberg, Sofia, 2012, *Framtida brandvattenförsörjning*. Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Report 5399.
- Försth, Michael; Ochoterena Raúl; Lindström Johan, 2012, *Spray characterization of the cutting extinguisher*, SP Technical Research Institute of Sweden, Fire Technology, SP Arbetsrapport 2012:14
- Granvestock, Neil, 1998, *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Shielded Fires*, Fire Engineering Research Report 98/3, University of Canterbury, New Zealand.
- Gustavsson, N-E, 1988, *A three parameter model for characterizing sprinkler sensitivity and predicting sprinkler operating times*, 0132, 8.8.1988, Industrial Mutual.
- Gustavsson, Sören, 1995, *Storskalig släckutrustning*, Borås: Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Brandteknik, 95 R30629.
- Handbok BRAND, 1986, Karlstad: Räddningsverket, U14-018/86.
- Handbrandsläckare, 1998, Stockholm: Svenska Brandförsvars-föreningen.
- Handell, Anders, 2000, *Utvärdering av dimstrålrörs effektivitet vid brandgaskylning*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 5065.
- Hanning, Ragne, 1992, "Utsläpp med komplikationer", *Brand & Räddning*, 1/92, sid 18.
- Hansen, Richard, 2019, *Vägledning i skogsbrandsläckning*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB1366.
- Harris, R. J. 1983, *The investigations and control of gas explosions in buildings and heating plants*, London.
- Herterich, Oskar, 1960, *Wasser als Löschmittel, Anwendung und Technik im Brandschutz*, Heidelberg: Dr Alfred Hüthig Verlag GMBH.
- Heskestad, G. 1980, "The role of water in suppression of fire: a review", *Journal of Fire & Flammability*, Vol. 11, October 1980, sid 254–262.
- Hoffman, W. Forschungsbericht nr 26, Universität Karlsruhe.
- Holm, Gisela & Bjurhem, Jan-Erik & Solyom, Peter, 1996, *Skumväske/oljeemulsioners giftighet och skumväskeors inverkan på oljeavskiljare*, Karlstad: Räddningsverket, R53-138/96.
- Holm, Boris, 2014, *Effekter av superabsorbent på granplantors överlevnad och tillväxt*. Examensarbete Linnéuniversitetet.
- Holm, Gisela & Solyom, Peter, 1995 *Skumväskeors effekter på miljön*, Karlstad: Räddningsverket, P21-101/95.
- Holmstedt, Göran, 1998, *Släckmedel och Släckverkan, obligatorisk kurs för BI2*, Lund: Institutionen för Brandteknik LTH.

Holmstedt, Göran & Persson, Henry, *Lättskum – förmåga att motstå värmestrålning*, Borås: Statens Provningsanstalt Brandteknik, Teknisk rapport SP-RAPP 1985:27.

Holmstedt, Göran & Persson, Henry & Rydeman, Anders, 1984, *Släckmedel och Släckverkan*, Borås: Statens Provningsanstalt Brandteknik, Teknisk rapport SP-RAPP 1984:35.

Holmstedt, Göran S. & Persson, Henry & Säwemark, Göran, 1986, *Släckning av gasdiffusionsflammar med pulver och haloner vid olika Froudes tal*, Borås: Statens Provningsanstalt Brandteknik/Kemisk analys, Teknisk rapport SP-RAPP 1986:24.

Hultqvist, Sven & Persson, Gunnar, 1960, *Släckningsverkan och släckningsmedel*, Svenska brandkårens riksförbund.

Ingelstam, Erik & Rönngren, Rolf & Sjöberg, Stig, 1993, *TEFYMA, Handbok för grundläggande teknisk fysik, fysik och matematik*, 3:e upplagan, Sjöbergs bokförlag.

Isaksson, Sören & Simonsson, Margaret & Holmstedt, Göran, 1997, *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, Borås: Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Brandteknik, SP rapport 1997:10.

Jansson, Lars-Eric & Lundgren, J. & Andersson, Lennart, 1981, *Samhällets brandvattenförsörjning*, VBB.

Johansson Jan & Mårtensson Ulf, 1986, *Pulver som förstahandsinsats vid rumsbrand*, videofilm, Borås: Statens Provningsanstalt, Brandteknik.

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

Karlsson, Börje, 2001, personlig kommunikation 010723.

Kemikalieinspektionen, 2016, *Förslag till nationella regler för högfluorerade ämnen i brandsläckningsskum*, rapport 1/16.

Kibert, C.J. & Dierdorf, D., 1994, *Solid particulate aerosol fire suppressants*. Fire Technology, Vol 30 nr 4.

Kärrman m.fl., 2016, *Study of environmental and human health impacts of firefighting agents*, Örebro University School of science and technology, 2016-06-03

Larsson, Karl-Magnus, 2018, *Släckteknisk skillnad mellan mörkt och ljus släckpulver*. Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 5578.

Lewis, Bernard & von Elbe, Guenther, 1961, *Combustion Flames and Explosion of Gases*, Academic Press Inc.

Linder, Kenneth W, 1991, "Water Supply Requirements for Fire Protection", *Fire Protection Handbook*, 17th ed. NFPA, sid 5–40–5–46.

Lindgren, A, 1864, *Allmänna Eldsläcknings-Reglor, Hjelpreda för Brandkårer, Sprutfabrikanter och Sprutmästare*, Kommunal- och Polistjenstemän, Husegare m.fl., Göteborg: A.Lindgrens förlag.

Lindsjö, Elin, 2015, *Små och storskaliga släckförsök med CAF och A-skum mot vätskebrand av bensin*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Liu, Zhigang & Kim, Andrew K, 2001, "A Review of Water

Lundin, Claes; Strindberg, August, 1882. Gamla Stockholm. Anteckningar ur tryckta och otryckta källor. Stockholm, s 221. www.runeberg.org/gsthlm hämtad 20191211

Mist Fire Suppression Technology: Part II – Application Studies", *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 11, nr 1, 2001, sid 16–42.

Lundmark, Tore, 2001, "Stora problem vid brand i batterilager", *Räddningsledaren*, Svenska Brandbefälets Riksförbund, nr 3, 2001, sid 25.

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

Madrzykowski, Daniel M. & Stroup, David W. 1998, *Demonstration of Biodegradable, Environmentally Safe, Non-Toxic Fire Suppression Liquids*, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6191.

Mattsson, Bengt, 1994, *Räddningstjänstens försörjning med släckvatten*, Karlstad: Högskolan i Karlstad, Samhällsvetenskap, Forskningsrapport 94:8.

Melin, Göran & Nyström, Samuel & Björnberg, Fredrik, 1999a, *Verksamhetsanalys – Ett verktyg för beskrivning av räddningsstyrkornas förmåga*, Jönköping: Räddningstjänsten Jönköpings kommun, Rapport 98-05.

Melin, Göran & Nyström, Samuel & Björnberg, Fredrik, 1999b, *Exempel på mål för den kommunala räddningstjänstens övningsverksamhet*, Jönköping: Räddningstjänsten Jönköpings kommun, Rapport 98-06.

Moberg, Arvid, 1966, *Fågel Fenix. Bränder och brandförsvaret i Luleå*, s 24.

Molin, Torsten, 1955, *Den spridda strålen*, Särtryck av artiklar införda i Brandkårtidskrift under 1954, Ystad.

MÖD, 2019, Mark- och miljööverdomstolen, 2018-M 10647, 2019-06-20.

NFPA 11, *Standard for Low-Expansion Foam Systems*, 1994, National Fire Protection Association, USA.

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

NIOSH chemical listing and documentation of revised IDLH values (as of 3/1/95), 2001, National Institute of Occupational Safety and Health (011010), www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html

Norberg, Peter; Lithner, Delilah, 2013, *Rening och destruktions av kontaminerat släckvatten*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB536.

Nyberg, Fred, 1978, *Brandvattenförsörjning i Västerås – Kapacitet hos bruksvattennätet*, Försvarets Forskningsanstalt, FOA rapport C 20277-D6.

Nystedt, Christer, 1994, *Mätning av tryckslag Räddningstjänsten*, 940117, Göteborg: Göteborgs vatten- och avloppsverk.

Olausson, Thorleif, 2000, *Släckmedel och släcksystem, alternativ för nutida och framtida stridsfartyg*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 5057.

Olsson, Kristina, 1988, *Användning av lättskum vid släckning av bränder i djurstallar – en litteraturöversikt*, Lund: Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst för lantbrukets byggnadsteknik.

Ondrus, Julia, 1996, *Brandteori*, Karlstad: Räddningsverket, U14-414/95.

Palm, Anders, 2000, *Släckvattenflödesmätning i Ågesta brandövningshus*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 5064.

Persson, Henry, 1987a, *Hur släcker man stora vätskebränder med skum*, Borås: Statens Provningsanstalt Brandteknik, Teknisk rapport SP-RAPP 1987:13.

Persson, Henry, 1987b, *Kemikaliebränder kräver rätt val av släckmedel*, Borås: Statens Provningsanstalt Brandteknik, Teknisk rapport SP-RAPP 1987:01.

Persson, Henry, 1990, *Basutrustning för skumsläckning – Försöksresultat och rekommendationer som underlag för dimensionering och utförande*, Borås: SP Brandteknik, SP Rapport 1990:36.

Persson, Henry, 1993, "Vad händer med brandsläcknings-skum...", *Brand & Räddning*, 8–9/93, 1993, sid 16–18.

Persson, Henry, 2012, *Brand i Silo – Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder*, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, MSB386.

Persson, Henry & Andersson, Ulf, 1995, *Funktionsprovning av skuminblandningsutrustning*, Borås: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Brandteknik, SP-RAPPORT 1995:18.

Qiao, Y.M.; Chandra, S, 1996, *Effect of dissolving a Surfactant in Water Sprayed on a Hot Surface*. NISTIR Annual Conference on Fire Research, sid 17–18.

Rasbach, D. J. 1976, "Theory in the Evaluation of Fire Properties in Combustion Materials", *Proceedings of the Fifth International Fire Protection Seminar*, Karlsruhe, Germany, 1976, sid 113–130.

Rasbach, D. J. 1986, "The Extinction of Fire with Plain Water: A Review", *Fire Safety Science, Proceedings of the First International Symposium*, Springer-Verlag, Berlin, sid 1145–1163.

Renning, Torsten, 1970, *Konstruktionsprinciper för brandpumpar*, Stockholm: Svenska Brandförsvarsföreningen, best. nr 194.

Restvärdesräddning, En handledning för skadesanering, 1988, Stockholm: SBF Brandförsvarsföreningen.

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.

Rivers, Paul E, "Halon Alternatives Research Corporation", *A Fire Protection Engineer's Interaction with Environment – SFPE Perspective*.

Rohilla, Meenakshi m.fl, 2019, *Aerosol Forming Compositions for Fire Fighting Applications: A Review*. Fire Technology, Vol 55, s 2515–2545.

Rochna, Ron, 2000, "Foam & Foam Proportioning", *Fire & Rescue*, October 2000.

Rosander, Mats, 1990, "En seg kamp för rökdykarna", *Brand & Räddning*, 8–9/90, sid 24–25.

Rosander, Mats, 1997, *Lättskumboken*, Nordiska Räddningsförlaget AB.

Rosander, Mats & Giselsson, Krister, 1993, *Skumboken*, Karlstad: Räddningsverket, U14-392/93.

Royer, Keith & Nelson, Floyd W. 1962, "Using Water as an Extinguishing Agent, part 2 – Utilizing Heat", *Fire Engineering*, vol. 115, Nov. 1962, sid 1036–1037, 1083.

Räddningstjänst i siffror 98, 1999, Karlstad: Räddningsverket, I99-074/99.

Räddningstjänst under sträng kyla, 2001, Karlstad: Räddningsverket, R59-225/01.

Saso, Y. & Saito, N. & Iwata, Y, 1993, "Scale effect on cup burner on flame-extinguishing concentration", *Fire Technology*, 1 quarter, 1993.

SBF 120:8, *Regler för automatisk vattensprinkleranläggning*, 2016, Stockholm: Brandskyddsföreningen

SBF 501:2, *Regler för boendesprinkler*, 2018, Stockholm: Brandskyddsföreningen

SBF 503:1, *Regler för vattendimsystem*, 2019, Stockholm: Brandskyddsföreningen

Schlyter, Ragnar, 1939, *Eldskyddspreparat för träkonstruktioner och textilier*. Statens provningsanstalt, Meddelande 62.

Shakespeare, William, 1594, *King Henry VI*, del 3, akt 4, scen 8, flera utgåvor finns.

Sjölin, Vilhelm, 1977, *Brandvattentag och vattentransport med tankbilar i Västerås*, Försvarets Forskningsanstalt, FOA rapport C 20207-D6(A3).

Sjöström, Mattias, 2019, *Tänk brett – våga nytt*. Tjugofyra7, nr 43, sid 26.

Skovlund, Allan, 2019, *Køretøjer med ikke-fossile brændstoffer og deres påvirkning af omgivelser – og beredskabet ved brand*. Projekt-opgave i Master i Brandsikkerhed ved Danmarks Tekniske Universitet (bearbetad).

Skärsläckaren – tillkomst och utveckling, 2000, Karlstad: Räddningsverket, P21-352/00.

Släckmedel pulver, 1999, produktdata, AB Förenade Brandredskap.

Spalding, D. B. 1955, *Some Fundamentals of combustion*, London: Butterworthy.

SS-EN 1869, *Brand och räddning – Släckredskap – Brandfiltar*, 1997. Svensk Standard, SIS Standardiseringen i Sverige.

SS 2840, *Brandmateriel – Tryckslangar – Dimensioner, fordringar och provning*, 1987, Svensk Standard, SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

SS 3496, *Brandmateriel – Motorsprutor – Allmänna tekniska krav och provning*, 1989, Svensk Standard, SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

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

SS-EN 2, *Brand och räddning – Klassificering av bränder*, 1993, Svensk Standard, SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

SS-EN 3, *Brand och räddning – Handbrandsläckare*, 1996, Svensk Standard, SIS – Standardiseringen i Sverige.

Starkströmsföreskrifterna, Föreskrifter och allmänna råd, 1999, Elsäkerhetsverket, ELSÄK-FS 1999:5.

Storskalig oljebrandsläckning Grundkurs, 2001, Karlstad: Räddningsverket, R40-244/01.

Stridsman, Daniel & Andersson, Jörgen & Svedung, Inge, 1999, *Effekter av släckvatten*, Karlstad: Räddningsverket, P21-198/97.

Svensson, Erik; Eskilsson, Peter, 2011, *Miljöpåverkan från Räddningstjänsten Storgöteborgs skumvätskor*, Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs universitet

Svensson, Stefan, 1999, *Räddningstaktiska grunder, Förslag till definitioner och kommentarer därtill*, Karlstad: Räddningsverket, P21-291/99.

Svensson, Stefan, 2020, *Brandgasventilation*, Karlstad: MSB, MSB1477.

Särdqvist, Stefan, 1996, *An Engineering Approach to Fire Fighting Tactics*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 1014.

Särdqvist, Stefan, 1998, *Djupanalys av tre storbränder*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Report 3096.

Särdqvist, Stefan, 1999, "Fire Brigade Use of Water", *Interflam '99, Proceedings of the eighth international conference*, Interscience communications, London, 1999, sid 675–683. (även i Särdqvist, 2000)

Särdqvist, Stefan, 2000, *Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University Report 1021.

Särdqvist, Stefan & Holmstedt, Göran, 2000, "Correlation Between Firefighting Operation and Fire Area: Analysis of Statistics", *Fire Technology*, vol 36, nr 2, 2000, sid 109–130. (även i Särdqvist, 2000)

Särdqvist, Stefan & Holmstedt, Göran, 2001 "Water for Manual Fire Suppression", *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 11, nr 4, 2001. (även i Särdqvist, 2000)

Särdqvist, Stefan; Jonsson, Anders; Grimwood, Paul, 2019, *Three different fire suppression approaches used by Fire and Rescue Services*. *Fire Technology*, Vol 55. No 3, sid 837–852.

SÄRF, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, 2016, *Viskafors Rib enhet Operativ förmåga vid utsläpp i miljön*. Räddningstjänsten Viskafors 2016-07-03

Test av bärbara motorsprutor, 1999, Karlstad: Räddningsverket, P21-281/99.

The Mechanism of Extinguishment of Fire by Finely Divided Water, 1955, The National Board of Fire Underwriters, NBFU research report No. 10, 1955.

Titus, John J. 1995, "Hydraulics", *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Ed. Philip J. DiNenno, 2nd edition, Society of Fire Protection Engineering, USA, sid 4–31 – 4–55.

Tryckfall i Setex brandslang, 1995, Skene: LA 95-08-29, Svebab, Svenska Brandslangfabriken AB.

Tuovinen, Heimo, 1989, *The Computer Modelling of the Combustion and Extinction of Methane-Air Premixed Flames by Thermally Stable Gases*, Borås: Swedish National Testing Institute, SP-Report 1989:54.

VAV P37, *Vattensprinkleranläggning, Utformning, vattenbehov, va-avgifter*, 1980, Stockholm: Svenska Vatten- och Avloppsföreningen, VAV.

VAV P38, *Allmänna ledningsnät. Anvisningar för utformning och beräkning*, 1979, Stockholm: Svenska Vatten- och Avloppsföreningen, VAV.

VAV P76, *Vatten till brandsläckning*, 1997, Stockholm: Svenska Vatten- och Avloppsföreningen, VAV.

Vennard, John K. & Street, Robert L. 1982, *Elementary Fluid Mechanics*, sixth edition, SI version, New York: John Wiley & Sons.

Vestergom Jr, George, 2001, Unifoam Company, personlig kommunikation 010827.

Walmsley, Simon J. 2000, *A Computational and Experimental Study of the Sprays Produced by Fire Suppression Sprinkler Systems*, PhD thesis, Manchester: Department of Mechanical Engineering, University of Manchester.

Waser, Jürg & Trueblood, Kenneth N. & Knobler, Charles M. 1982, *Chem one*, Second edition, McGraw-Hill Inc.

Wilder, I. 1969, "High expansion foam for shipboard fire fighting", *Fire Technology*, nr 5, vol 25, 1969.

X-Fog Skyddsblad 2019-12-13, nedladdat från x-fire.se 20200108

Zabetakis, Micahel G. 1965, *Flammability characteristics of combustible gases and vapors*, Bureau of mines, Bulletin 627, USA.

Nomenklatur

Beteckning och enhet för de storheter som används i boken. Storheter med grekiska bokstäver som beteckning kommer efter det vanliga alfabetet. Index redovisas separat.

A	reaktionskonstant
A [m ²]	yta, tvärsnittsyt
A [-]	korrektionsterm vid beräkning av Froudes tal
B_{cr} [-]	relation mellan den energimängd som frigörs och den som används för förångning av bränsle
C [vol%], [mol/m ³]	gaskoncentration
c_p [kJ/kgK = J/gK]	värmekapacitet, per massa
C_p [J/molK]	värmekapacitet, per mol (luft och brandgaser ca 34, vattenånga ca 41,2)
c_w [-]	andel av vattnet som når och förångas vid bränsleytan
d [m], [mm]	diameter
E_A [J/mol]	aktiveringsenergi
f [-]	förlustfaktor för slang/rör
f [-]	andel av utvecklad energi som återförs till ytan, främst genom strålning och konvektion
Fr [-]	Froudes tal, $Fr = Av^2 / gd$
g [m/s ² = N/kg]	allmän gravitationskonstanten, 9,81
h [W/m ² K]	värmeövergångstal
ΔH_c [J/kg]	bränslets förbränningsvärme
$\Delta H_{R,O_2}$ [kJ/g]	frigjord energimängd per massa förbrukat syre
H_v [kJ/kg]	Entalpiförändringar, exempelvis vid uppvärmning och förångning
k [W/mK]	värmeledningstal
l [m]	längd (slanglängd, kastlängd, falllängd m.m.)
L_v [kJ/kg]	förångningsvärme (vatten: 2260 kJ/kg = > 40,68 kJ/mol)
m'' [kg/m ² s]	massavbrinningshastighet
$\dot{m}$ [kg/s]	massflöde
M [g/mol]	molvikt
n [mol]	substansmängd av molekyler
Nu [-]	Nusselts tal
p [Pa=N/m ²], [MPa]	tryck
q [m ³ /s], [l/min]	flöde
Q'' [W/m ²]	varmeflöde, värmestrålning

R [N]	reaktionskraft
R [J/molK]	allmänna gaskonstanten, 8,31
Re [–]	Reynolds tal
$REMP$ [g/g]	massförhållande mellan släckmedel och bränsle vid släckning
t [s], [min]	tid
T [K], [°C]	temperatur
ΔT [K]	temperaturskillnad
v [m/s]	hastighet
v [mol/m ³]	reaktionshastighet
V [m ³], [l]	volym
X [–]	molfraktion
Y [–]	massfraktion
z [m]	höjd
α [°]	konvinkel
ε [m]	sandråhet
χ [–]	förbränningseffektivitet
ϕ [–]	förhållande mellan bränsle- och luftmängd i en flamma
ρ [kg/m ³]	densitet
ν [m ² /s]	kinematisk viskositet
μ [Ns/m ²]	dynamisk viskositet
ξ [–]	Förlustkoefficient

Index

- 0 utgångsläge, tillstånd innan förändring (nollnivå)
- 1 tillstånd efter förändring, eller i den första av två punkter
- 2 tillståndet i den andra av två punkter
- ad* adiabatisk
- cr* kritiskt, vid släckgräns
- e* släckmedel (extinguishing agent)
- f* bränsle (fuel)
- f* förlust (vid hydraulikberäkningar)
- g* gas
- j* komponent *j* i en blandning
- l* luft
- o* syre (oxygen)
- p* produkter, vid förbränning
- u* undre (om brännbarhetsgränser)
- v* vatten

Register

Adiabatisk flam-
temperatur 284
Aerosoler 260
AFC 260
AFFF 193
Aktiveringstemperatur,
sprinkler 140
Alkoholresistent
skumvätska 194
Alternativsystem 46
Ansulex 195, 230
Antifoam 225
Applikator, -munstycke,
-rör 96, 166
Argon 266
Argonit 265
Argotec 265
Aspirerande skumrör 211
Avgasejektor 58
Avhållslina 58, 60
Avskiljning 12
Backupstrålrör, förstärk-
ningsstrålrör 93
Basutrustning för
skumsläckning 242
Bernoullis ekvation 38
Bladdertank 208
Blandningsutrustning
198
Blåsbildare, blåsbildande
nät 215
Bostadssprinkler 137
Botteninföring 232
Brandgaskylning 147
Brandkrok 13
Brandpost 42
Brandpost -huvud, -nyckel
44
Brandpost, friflödande 42,
102
Brandpumpar 51
Brandsläckare,
handbrandsläckare 25
Brandtriangeln 10
Brännbarhets- gränser,
-område 279
Bränsleklasser, klassning
av bränder 30
B-tal 307
Byxrör 75, 76
CAF, CAFS 212

Cirkulationssystem 40
Cisternbrandsläckning
232
Cleveland-modellen 79
CO₂, koldioxid 266
Cup burner 298
Cup-burnerdata 270, 305
Darcy-Weisbachs ekvation
108
Defoam 220, 225
Densitet 35
Densitet, gas 266
Densitet, pulver 253
Densitet, vatten 34
Detergentskumvätska
191
Diffusionsflammar 278,
292, 305
Diffusor 52
Dimspik 94
Dimstrålrör 90, 95
DIN-koppling 73
Dissipation 68
Doseringsutrustning,
inblandningsutrust-
ning, 198
Droppstorlek 129
Dubblerad ledning
113, 119
Dynamisk viskositet 34, 36
Dräneringshastighet 244
Dörradapter 218
EC-sprinkler 139
Effektutveckling 134,
302, 303
Egendomsskador 185,
250, 262, 277
Elektricitet 178, 245, 256
Elektriska fält 298
Energiinnehåll, vatten
33, 39
Energilinjer 38
Enhetsstrålrör 90, 92, 99,
100
Enhetstabell se bakre
omslagsflik
Entalpi 285
ESFR-sprinkler 139
Evakuering, pump 57
Expansionstal 211
Fall och förångning,
vattendroppar 153
Fasdiagram, koldioxid 266
Felsökning, pump 62

Fettsläckmedel 30, 195
Filmbildande skum-
vätska 193
Fire Point-teorin 306
Flaps, spridare 237
Flöde, beräkning 38
Flöde, brandpost 42, 46
Flöde, brandpumpar 56
Flöde, lättskum 225
Flöde, rör 102
Flöde, slang 104
Flöde, strålrör 98, 127
Flöde, tung-, mellanscum
241
Flöde, vattenåtgång 167
Flödesreglerade strålrör
100
FM200 265
Friktionsförluster 108
Froudes tal 301
Förbränningshastighet
288
Fördelningsrör 76
Förgreningssystem 41
Förlustfaktor, slang 108
Förpump 57
Förstärkningsresurs 174
Förstärkningsstrålrör 93
Förutlösningssystem 136
Förångning av vatten-
droppar 153
Gasblandningar 265
Gasformiga släckmedel
264
Gaskoncentration för
släckning 270, 286
Gasvolym för släckning
273
Gelbildande skumvätskor
194
Gelbildare 195
Glödbbrand 311
Greningsregeln 99
Grenrör 75, 114
Grovslang 72
Grupputlösningssystem
135
Halon 264
Halotron 265
Handbrandsläckare 25
Hazen-Williams ekvation
112
HFC 264
Hotfoam 193

- Hydraulik 36
 Högtryckspump 53
 Højdskillnader 115
 Indirekt påföring, skum 238
 Indirekt släckning, vatten 166
 Inergen 265
 Inerteringsgräns 281
 Inertgaser 272
 Injektor 201
 Inkompressibel strömning 35
 Inmatningsrör 76
 Isrör 59
 Kapacitetskontroll 63
 Kasthöjd 124
 Kastlängd, skum 211, 216, 218
 Kastlängd, vatten 124
 Kavitation 69
 k-faktor, grenrör m.m. 110, 114
 k-faktor, sprinklermunstycken 139
 Kinematisk viskositet 36, 34
 Klassindelning, bränsle 30
 Klassindelning, handbrandsläckare 32
 Klassindelning, pumpar 56
 Klassindelning, strålrör 125
 Klokoppling 73
 Koldioxid 264
 Kolsyra 265
 Kolsyresläckare, se koldioxid eller handbrandsläckare
 Kombirör 216
 Kompressabilitet 35
 Kontaminerat släckvatten 178
 Kritisk påföringshastighet 18, 173, 305
 k-värde, slang 110
 Kväve 265
 Kyla 87
 Kylning, brandgaser 147
 Kylning, släckmekanism 10
 Kylning, ytor 159
 Laminär strömning 107
 Le Chateliers princip 287
 Ledskena 52
 Lokala förluster 114
 Lämpning 12
 Lättskum 211
 Lättskumfyllning 231–238
 Lättskumsaggregat 217
 Lättvatten 193
 Lättverk, -slina 58, 60
 Löphjul 52
 Manometer 54
 Manovakuummeter 54
 Manöverslang 72
 Mellaninjektor 204
 Mellanscum 211
 Mellanskumrör 215
 Mellantrycksblandare 208
 Metallbrandspulver 257
 Metro-modellen 79
 Mieccl 190
 Miljöpåverkan 178, 247, 262, 275
 Mixer, skum- 201
 Motorspruta 56
 Munstycke, skum 211
 Munstycke, sprinkler 138
 Munstycke, strålrör 90
 Munstycksformeln 99
 Munstyckstryck 99
 Nitrogen 265
 Nivåskillnader 115
 Nomenklatur 324
 Normalkoppling 73
 Oaspirerat skum 214
 Oexpanderat skum 214
 Offensivsläckning 147
 Omräkningsfaktorer se bakre omslagsflik
 Optimering av flöde/påföring 18
 Parallellpumpning 71
 PFAS, PFOS 193, 249
 P-märkning 192
 Premix, oaspirerat skum 214
 Proteinscumvätska 192
 Provbål 31
 Pulver 252
 Pulveraggregat 253
 Pulversläckare, se pulver eller handbrandsläckare
 Pumpar, brandvatten 51
 Pumpinjektor 203
 Pumpkurva 39, 64
 Pumpkörning 59
 Påföringshastighet, lättscum 225
 Påföringshastighet, optimal 18
 Påföringshastighet, REMP 300, 304
 Påföringshastighet, tung-, mellanscum 241
 Påföringshastighet, vatten 167, 305
 Påföringsteknik, skum 232
 Reaktionskrafter 103
 Reaktionsvägar 297
 REMP-värde 304
 Residential sprinkler (bostadssprinkler) 137
 Retardenter 160
 Reynolds tal 107
 RTI-värde 141
 Rumsfyllning, lättscum 221
 Rökdykarinsats, slang 116
 Rökdykarinsats, strålförarteknik 145
 Saltvatten 48
 Schlierenkon 290
 Semi sub surface-införing 234
 Seriepumpning 69
 Silobrand 312
 Skada på egendom 185, 250, 262, 277
 Skada på miljö 178, 247, 262, 275
 Skada på människa 177, 245, 262, 273
 Skum 190
 Skumgeneratorer 211
 Skuminjektor 201
 Skumkanon 214
 Skummixer 201
 Skumpistol 207
 Skumsegel 220
 Skumsläckare, se skum eller handbrandsläckare
 Skumsprinkler 231
 Skumtal 211
 Skumvätska 190
 Skumvätskeinblandning 198
 Skumväskpumpar 200
 Slang, brand- 72
 Slang, dubblerad 113

- Slang, friflödande 102
 Slang, rullad 78
 Slang, sug- 58
 Slang, tryck i 105
 Slang, tryckförlust 108
 Slangarmatur 75
 Slangbinda 78
 Slangbro 77
 Slangbrott 77–78, 83, 104–105
 Slangbrygga 77
 Slangdiameter 72, 123
 Slangdragning 82
 Slangförlust 108
 Slangförvaring 78
 Slangjeep 80
 Slangkrok 78
 Slangrullning 79, 85
 Slangsystem 40, 116
 Slangtillbehör 77
 Slangutlägg 116
 Slangutläggare 80
 Slangvolym 122
 Sluten seriepumpning 69
 Släckgräns 279
 Släckmekanismer 10, 280, 281
 Släckteori 278
 Släckvatten, kontaminerat 178
 Smalslang 72
 SMC 243
 Spetsgräns 281
 Spillbrand 227
 Spillvatten, se kontaminerat släckvatten 178
 Spray, vatten- 129
 Sprinkler 134
 Sprinkler, skum- 231
 Sprinkler, vattenåtgång 176
 Standardutlägg, slang 116
 Stigarledning 80
 Stordroppssprinkler 139
 Storskalig (skum) släckutrustning 243
 Storzkoppling 73
 Strålar, vatten- 124
 Strålrör 90
 Strålrör, flöden 98
 Strålrör, flödesreglerat 100
 Strålrör, tryckreglerat 100
 Strålrörsinjektor 207
 Strålrörsspett 96, se även dimspik eller applikatorrör
 Strålrörsventilation 133
 Sub surface-införing 234
 Sughöjd 66
 Sug-sil, -slang, -studs 58
 Säkerhetsavstånd, el 177, 245
 Säkring av olycksplats 229
 Tallriksstrålrör 95
 Tankbil, skum 242
 Tankbil, vattenförsörjning 48
 Tillsatsmedel 187
 Toppåföring 232
 Torrt vatten 264
 Torrörsförlängning 136
 Torrörsprinkler 134
 Tryck 34
 Tryckenheter, omräkning se bakre omslagsflik
 Tryckförluster, slang 38, 107, 108
 Tryckhöjd 66
 Tryckluftsskum 212
 Tryckreglerade strålrör 100
 Tryckskumrör 234
 Tryckslag, tryck-stötar 106
 Tryckslang 72
 Tryckstötar 106
 Tubular tube 299
 Tungskum 211
 Tungskumrör 213
 Turbincentrifugalpump 57
 Turbulent strömning 107
 Uppfordringshöjd 66
 Utlösningstemperatur, sprinkler 140
 Val av handbrandsläckare 26
 Val av släckmedel 14
 Varmgång 68
 Vatten 33
 Vattenåtgång 167, 305
 Vattendroppar, bana 132
 Vattendroppar, fall och förångning 153
 Vattendroppar, kollision med yta 164
 Vattendroppar, storlek 129
 Vattenskador 185
 Vattensprinklersystem 134
 Vattenstrålpump 57
 Vattentäthet 127, 167
 Vattenvolym, förbrukning 167
 Vattenvolym, slang 122
 Webers tal 164
 Vermikulit 189
 Vinterbrandsläckning 87
 Viskositet 36
 Viskositet, skum 199
 Viskositet, vatten 34
 Volymutvidgning, vid frysning 87
 Volymutvidgning, vid ångbildning 149, 162
 Våtrörssystem 135
 Väggsprinkler 139
 X-fog 189
 Ytkylning 159
 Ytverkan 305
 Ångbildningsvärme 33, 162
 Ångtryck, bränsle 229
 Ångtryck, gaser 266
 Ångtryck, vatten 34, 69
 Öppen seriepumpning 69
 Öppet vattentag 47, 57
 Övergångs-koppling, -lock 77, 115

Bildförteckning

Illustrationer: Per Hardestam

Diagram: Stefan Särdqvist

Foton:

Peter Lundgren 2.11, 2.13, 2.14, 2.18, 2.20, 2.21, 2.33, 2.34, 2.37, 2.38, 2.39 (högra), 2.40 (vänstra), 2.42, 2.43, 2.44 (nedre), 2.47, 2.48, 2.49, 2.50, 2.55, 2.57, 2.58, 2.59, 2.62, 2.78, 2.85, 2.92, 2.98, 2.101, 2.103, 2.104, 2.107, 2.108, 2.111, 2.122, 2.123, 2.137 (övre), 3.8, 3.12, 3.19, 3.20, 3.21, 3.24, 3.36, 3.38, 3.43, 3.45, 4.4, 6.34, 6.43

Patrick Persson sid 8, 2.51, 2.69, 2.92, 2.110, 2.115, 2.116, 2.117, 2.118, 2.130, 2.131, 4.10

Stefan Särdqvist 1.3, 1.4, 2.9, 2.19, 2.22, 2.35, 2.36, 2.44 (övre), 2.53, 2.54, 2.60, 2.61, 2.68, 2.99, 2.136, 3.22, 3.27, 4.3, 4.5

Faksimil ur Borås Tidning 1.5

Olle Johansson 1.6, 1.7, 1.8, 2.97, 2.106, 2.112, 3.28, 4.2, 5.8

Andreas Forsberg 1.13, 2.39 (vänstra), 2.40 (högra)

Micke Andersson 2.10

Hans Ebbe Lindskog 2.13

Andreas Wistrand 2.45

David Högberg 2.46, 5.6

Stefan Ahlbom 2.52

Johan Eklund 2.132

Claes-Håkan Carlsson 2.137 (nedre)

Magnus Lilja 3.44

Anders Ahlström 6.37

Friläggning av foton: Per Hardestam samt Advant