

# **Invallningsbränder – underlag för dimensionering av brand- skyddet**

- Med tillhörande experimentdata på  
värmestrålning mot brandslang

*Mikael Gard*  
*Fredrik Levinsson*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 5210, Lund 2006



# **Invallningsbränder – underlag för dimensionering av brandskyddet**

- **Med tillhörande experimentdata på värmestrålning mot brandslang**

**Mikael Gard  
Fredrik Levinsson**

**Lund 2006**

**Titel**

Invallningsbränder – underlag för dimensionering av brandskyddet  
- med tillhörande experimentdata på värmestrålning mot brandslang

**Title**

Dike pool-fires- methods to construct the fire protection of dikes  
- including experimental data of hose-models resistance against heat radiation

**Författare/Authors**

Mikael Gard  
Fredrik Levinsson

**Report 5210**

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5210--SE

**Antal sidor/Number of pages:** 110

**Språk/language:** Svenska/Swedish

**Sökord**

Invallning, cistern, värmestrålning, brandslang, påföringshastighet, sektionerad invallning, skumvätska

**Keywords**

Dike area, tank, heat radiation, fire-hose, delivery rate, sections within a dike area, foam solution

**Abstract**

This graduation project examines how pool fires in dike areas effect surrounding tanks containing liquid hydrocarbons, as well as other equipment in an oil refinery. The purpose of the report is to investigate a certain tank area at Preemraff Lysekil and give some suggestions to reduce the consequences of a dike pool fire. Calculations and simulations has been done according to heat radiation, flow in a dumping system and foam application capability. Experiments have also been brought out to investigate fire hoses tolerance of heat radiation.

The report shows that the fire safety at the chosen object is under present circumstances lacking. The result from the simulations and calculations shows that a pool fire in the dike area is impossible to fight. Relatively simple actions such as installing semi-barriers in the dike area and a fixed foam application system, could improve the fire safety a lot.

Författarna svarar för innehållet i rapporten/The authors are responsible for the contents of this report.

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

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

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

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

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

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

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

## Sammanfattning

En bristfällig brandsäkerhet vid stora cisternlager med brandfarliga varor kan vid en eventuell brand få förödande konsekvenser. Hösten 2005 inträffade en mycket omfattande brand i ett bensinlager utanför London. Vid olyckan totalförstördes 20 cisterner. Olyckor av detta slag är inte acceptabla, vare sig ur ett ekonomiskt eller ett miljömässigt perspektiv. Projektet strävar specifikt efter att belysa de problem som kan uppstå i händelse av invallningsbränder i cisternlager.

För projektet har uppdragsgivaren Preemraff Lysekil valt ut ett intressant område vid raffinaderiet i Lysekils kommun. Syftet är att besvara fem frågeställningar som berör området, som för övrigt benämns 53-området, och innefattar 10 cisterner i en gemensam invallning. Cisternerna innehåller bensin-komponenter. Frågeställningarna i syftet utgår ifrån en invallningsbrand och involverar brandspridning, värmestrålning mot omgivningen, resursutvärdering, olika kapacitetstester och simuleringar. Denna analys av området och dess resurser utmynnar i ett åtgärdsförslag som förhoppningsvis kan förbättra brandskyddet.

Cisterner och invallningar kan ibland skyddas på liknande sätt. Därför beskrivs kortfattat några olika tekniker för cisternbrandskydd. De tekniker som även fungerar mot brand i invallningar lyfter rapporten särskilt fram. Metoder för släckning av cisterner och invallningar som rapporten diskuterar är fasta, semifasta- och mobila system. Områdets 10 cisterner innehåller bensinkomponenterna reformat, isomerisat och polybensin. Marknadsvärdet för dessa komponenter uppgår till ca 630 miljoner kronor. Cisternerna är av två modeller, halvfabriker samt cisterner med yttre, flytande tak. De med flytande tak är skyddade med semi-fasta skumpåförare över topp och på halvfabrikerna finns ett fast vattensprinklersystem. Runt invallningen löper en brandvattenledning med dimensionen 8 tum, till vilken sju brandposter anslutits. En hävert i invallningen möjliggör nöddumpning vid ett eventuellt stort läckage alternativt omfattande brandscenario. Invallningen är idag inte utrustad med system för brandsläckning.

För att förenkla beräkningar av värmestrålning mot omgivningen har en 50 meter bred pölbrand antagits i invallningen. Hänsyn har tagits till cisternernas innehåll, vindpåverkan, årsmedeltemperatur, luftfuktighet och invallningens djup. Avståndet har varierats till dess strålningsintensiteten hamnar inom intervallet 6-8 kW/m<sup>2</sup>. Resultaten visar att utan vindpåverkan hamnar strålningen inom detta intervall på avståndet 30 meter från invallningen. När hänsyn tagits till vindpåverkan uppnås strålningen 6-8 kW/m<sup>2</sup> på avståndet 70 meter. Ett resonemang förs kring vad som är känsligast för värmestrålning under en insats. Slutsatsen författarna kommit fram till är att de exponerade brandslangarna är känsligast. Eftersom det visat sig att inga försök med värmestrålning mot brandslang utförts tidigare, bestämde sig författarna för att själva utföra ett experiment. Två typer av grovslang användes och värmestrålningen sattes till 10, 20 och 30 kW/m<sup>2</sup>. Experimenten utfördes med tom slang, vattenfylld slang och slang med flödande vatten i. Resultaten visar att tomma slangar och fyllda slangar förstörs vid 20 kW/m<sup>2</sup> efter ca 10 minuter. Ett intressant resultat är att så fort ett litet flöde upprätthålls i slangerna så förekommer ingen synlig påverkan. Detta gäller även vid 30 kW/m<sup>2</sup>. För brandspridning till övriga cisterner vid en invallningsbrand med direkt flampåverkan är tidsaspekten i storleksordningen minuter innan cisternerna riskerar att involveras i branden.

Kastlängdsförsök har utförts med en tak-kanon på ett av Preemraff Lysekils släckfordon. Försöken visar att kastlängden minskar i motvind och vid 8 m/s i erhålls en kastlängd på 50 meter. Motsvarande vindstyrka i medvind ger en kastlängd på över 80 meter.

Efter studier av olika företag och organisationers rekommenderade påföringshastigheter vid invallningsbränder framgår det att NFPA 11 är den mest tillämpliga. Rekommendationen uppgår till 4,1 l/m<sup>2</sup> min för invallningsbränder. Om denna hastighet ska användas mot invallningen krävs ett flöde på ca 40 000 l/min. Preemraff Lysekils totala pumpkapacitet på släckfordonen uppgår till ca 25 000 l/min, vilket är för lite om rekommendationen från NFPA 11 ska tillämpas. För att kunna utvärdera om dessa flöden är möjliga i 53-områdets brandpostnät har simuleringar utförts med programmet PFS. Resultaten visar att om alla 7 brandposter öppnas fullt och tre pumpar tas i drift kan ett flöde på högre än 25 000 l/min upprätthållas.

Raffinaderiets förråd av skumvätska har inventerats. Om påföring ska ske under 60 minuter, med 3 % inblandning, mot 53-områdets invallning, krävs totalt 72 m<sup>3</sup> koncentrerad skumvätska. Denna volym finns tillgänglig, dock saknas en plan för hur logistiken ska hanteras vid ett brandscenario.

Släckmedelscentralen (SMC) har kontaktats och utvärderats med fokus på Preemraff Lysekils behov. Den närmsta depån finns i Göteborg och har en inställetid till Lysekil på ca 2 timmar. Eftersom det vid en invallningsbrand handlar om enstaka minuter innan resterande cisterner involveras i branden, anser författarna att kostnaden för denna resurshöjning istället bör läggas på åtgärdsförslagen. SMC:s roll vid en invallningsbrand på 53-området handlar troligtvis mer om restvärdesräddning, vilket inte anses korrekt att dimensionera efter.

Slutligen har en kombination av åtgärder tagits fram i syfte att öka områdets säkerhet vid en eventuell invallningsbrand. Enligt Sprängämnesinspektionens författningssamling SÄIFS 2000:2 skall brandsäkerheten i samband med nybyggnationer av cisternområden med tillhörande invallningar dimensioneras på ett sådant sätt att området kan betraktas som släckbart med befintliga resurser i händelse av brand. För fallet 53-området anser författarna att en indelning i fyra mindre ytor är en bra lösning. Då skulle det erforderliga påföringsflödet endast uppgå till ca 10 000 l/min, vilket företagets mobila brandstyrka har resurser att upprätthålla, förutsatt att läckaget begränsas till en sektion. Hänsyn kan också tas till Boots & Coots rekommendation som säger att 30 % av utrustningen brukar krångla vid insats. Vidare har experiment, kastlängdsförsök och strålningsberäkningar visat att vindpåverkan och hög värmestrålning kan ställa till svårigheter vid ett brandscenario. Därför rekommenderas att ett semi-fast släcksystem installeras i 53-områdets invallning. Påföring kan då ske med mindre spill, vindpåverkan och risk för att utrustning förstörs av värmestrålningen. Nöddumpning och detektering måste vara möjlig för varje sektion.

Resultaten av denna rapport visar att en brand i gemensam invallning med flera cisterner snabbt kan involvera och totalförstöra ett område. Det nuvarande brandskyddet och planeringen för en eventuell invallningsbrand på 53-området är otillräcklig enligt genomförd utvärderingen. Mobil skumpåföring mot en till ytan stor invallning kräver enorma resurser. Därför anser författarna att det är mycket viktigt att dimensionera brandskyddet efter Sprängämnesinspektionens uppdaterade författning från år 2000.

## Summary

If the level of fire safety is not good enough in objects that store large quantities of liquid hydrocarbons, the consequences in case of fire can be devastating. In 2005 a very large fire occurred in an oil-product storage depot not far from London. During the fire 20 tanks containing gasoline were destroyed. Accidents like the one in England are not acceptable, both from an economic and environmental view. The project specifically purposes is to discuss the problems according to pool-fires in dike areas.

Preemraff Lysekil, an oil refinery at the Swedish west coast, has identified an area containing 10 tanks in one single dike as suitable for this study. The purpose of the study is to answer five questions about fire-safety connected to the area. The name of the area is Area 53. The contents of the tanks are gasoline-components. The questions are based upon a dike area fire and involve fire-spread, heat-radiation, resource-evaluation, different capacity experiments and flow-simulations. Finally this analyse of area 53 ends in a number of measurements which hopefully can improve fire-safety in the tank area.

Large storage tanks and appurtenant dike areas can sometimes be protected in similar ways. Therefore the report describes some different fire protection methods for tanks. The project particularly emphasizes those that are also applicable in dike areas. Extinguish-methods described in the report are mobile foam systems, fixed foam systems and semifixed foam systems. The tanks contain a number of different gasoline-components, with an estimated total trade value of about 630 millions (SEK). Two different tank-constructions are represented in Area 53, Open Top Floating Roof Tank and Half Spherical Top Tank. The Open Top Floating Roof Tanks are protected with semifixed foam systems between the tank shell and the floating roof. The Half Spherical Top Tanks have a fixed water sprinkler system attached at the mantle. An eight inch water pipe-line encircles Area 53. Seven fireplugs have been connected to the water pipe-line and they are equally distributed. To facilitate a quick evacuation of the dike area, in case of a fire or a large leak, a 12 inch pipe, which works like a siphon, has been constructed. No fire protection systems have been installed in the dike area.

To facilitate calculations of the heat radiation to surrounding areas, the fire in the dike area has been approximated into a pool fire with a diameter of 50 meter. Contents in the tanks, wind, temperature, humidity of the air, and the depth of the dike area have been taken into consideration. The distance has been ranged until the heat radiation at a specific point is in the interval 6-8 kW/m<sup>2</sup>. The result shows that without influence from the wind the heat radiation stays in this region 30 metres from the dike area. When the wind (assumed to be the average local wind speed, 5,8 m/s) is taken into consideration the distance to the same level of heat radiation grows to about 70 metres. The report discusses the questions concerning how much heat radiation the fire fighting equipment can endure during a large scale mission. The conclusion drawn by the authors is that the fire hoses used during a mission tend to be exposed to high levels of heat radiation in case of a large fire. According to non-existent information about experiments measuring the tolerance of fire hoses against heat radiation, the authors made the decision to investigate it. Two different models of hose were used and the tolerance to heat radiation was measured at 10, 20 and 30 kW/m<sup>2</sup>. The experiments involved tests on empty and filled hoses as well as hoses carrying a constant water flow. Result shows that empty and filled hoses will be destroyed at 20 kW/m<sup>2</sup> after about 10 minutes. An interesting result is that a small flow in a hose manages to cool the material and keep it intact, even if the heat radiation rises to 30 kW/m<sup>2</sup>. When it comes to fire spread to tanks in a burning dike area, in the case the tanks are assumed to be affected immediately by flames, the time factor until a tank runs the risk of catching fire, is in the region of minutes.

Experiments evaluating throwing distance of a foam-water monitor, situated on one of the fire-vehicles at the refinery, have been conducted. The experiment shows that the throwing distances decreases to about 50 metres, if head-wind speed reaches 8 m/s. The equivalent situation in tail-wind results in a throwing distance of over 80 metres.

Studies of different foam solution delivery rates for dike areas from a number of companies and organisations, indicates that NFPA 11 (4,1 l/m<sup>2</sup>min) is the most frequently applied recommendation. If this value is applicable to Area 53 the required delivery rate for the dike area is almost 40 000 l/min. The total mobile pump capacity at Preemraff Lysekil amount to 25 000 l/min, and it is accordingly not

sufficient. To evaluate if the necessary delivery rates are possible in the water pipe-line supplying the tank area, simulations have been done in a program called PFS, Program Flow System. The results show that if an upper limit has been put on the capacity of the seven existing fireplugs, and all three pumps operates, a water-flow of more than 25 000 l/min is possible to maintain.

The amount of foam concentrate at the refinery has been invented. If a fire occurs in Area 53, the delivery of foam solution continues for 60 minutes and the percentage of foam concentration is 3 %, the total quantity required will amount to 72 m<sup>3</sup>. This volume is available for the mobile fire-brigade, but a logistic plan that explains how the transportation of the foam-concentrate is made possible, is missing.

The authors have contacted a Swedish organisation called SMC concerning the object at Preemraff Lysekil. SMC is specialized in large scale mobile fire-extinguishing, especially flammable liquid fires in large storage tanks. The nearest SMC-depot is found in Gothenburg and the appearance-time at Preemraff Lysekil for the specialized fire-brigade is about two hours after having received the alarm. In case of fire in a dike area, fire spread to tanks is likely to occur after only a few minutes. The authors are therefore of the opinion that the costs of a prospective membership instead should be used to improve the local fire-brigade and their areas containing large storage tanks at the refinery. Two hours appearance-time is not acceptable.

Finally a combination of actions has been submitted to improve the safety in case of fire in Area 53. SÄIFS 2000:2, a new Swedish fire-code from the year 2000, requires that new areas containing storage tanks have to be possible to extinguish by the local fire-brigade. The authors argue that Area 53 should be divided into four sections, based on the new fire-code. The result would be a delivery rate necessary of only 10 000 l/min for one section. Local, mobile pumps can uphold this rate, on condition that only one section is burning. Boots & Coots, a company from Texas with the same speciality as SMC, but with far more practical experience, suggests that the equipment during an extinguish procedure should be overestimated. According to Boots & Coots, 30 percentage of error is appropriate in the dimensioning of the extinguish resources.

Experiments and calculations have shown that wind affection and heat radiation can cause trouble if a large fire occurs in a dike area. Therefore the authors recommend an installation of a semifixed extinguish system in Area 53. The application of foam solution will then be more precise when foam discharge outlets have been installed at strategic locations close to the semi-sections of the dike area. The change is also likely to protect the fire fighting equipment from heat radiation and will facilitate the possibility to approach the area. Of course shorter distances make the delivery of foam solution from the fire trucks easier and more accurate. Detection and evacuation in each section must be possible as well.

The results from the report shows that a fire in a large dike area involving several storage tanks, quickly can damage an area. The existing fire safety and the plans in case of a large fire in Area 53, is not enough according to inventory made by the authors. Mobile foam application onto a large, burning surface requires huge resources. Therefore the authors argue that it is very important to dimension with regard to the new fire-codes from SÄIFS 2000:2. The local fire-brigade has to be able to extinguish a fire in a tank area, irrespective of size, with available resources.



## Förord

Denna rapport genomfördes på uppdrag av Preemraff Lysekil under år 2006. Arbetet omfattar 10 akademiska poäng och ingår i Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska högskola. Rapporten har efter samråd med Tomas Beillon och Lars Gunnar Hansson på Preemraff Lysekils Räddningstjänst koncentrerats till att utvärdera brandskyddet på ett specifikt cisternområde som benämns 53-området. Vi vill för det första rikta ett stort tack till Tomas Beillon och Lars Gunnar Hansson på Preemraff Lysekil samt vår handledare Berit Andersson på Institutionen för Brandteknik i Lund. Utan deras stöd hade inte detta projekt kunnat genomföras.

Vi vill även rikta ett särskilt tack till Leif Artursson på SVEBAB som genom sponsorstöd med brandslangsprov möjliggjorde de strålningsexperiment som utförts. Lika viktiga för experimentet har Sven-Ingvar Granemark på Institutionen för Brandteknik i Lund och Stefan Svensson på Statens Räddningsverks anläggning på Revinge varit. För hjälp med att trycka på kopplingar på slangar riktas ett tack till Räddningstjänst Syd.

Övriga personer som författarna av rapporten vill tacka för nyttig information och vägledning är Henry Persson på SP i Borås, Olof Jacobsson på Räddningstjänsten Storgöteborg, Lars Jensen på Institutionen för installationsteknik samt Göran Holmstedt på Institutionen för Brandteknik.

Vi vill också tacka er som korrekturläst rapporten och kommit med tips och idéer.

Vi önskar er alla en trevlig läsning!

*Mikael Gard*  
*Fredrik Levinsson*

Lund, december 2006

## Ordlista

Boil-over	Överkokning, kokande vatten i cisternens botten ger en överkokning
Brandklass 1	Brännbar vätska med flampunkt under 37 °C
Flashpoint	Flampunkt (den temperatur då ämnet avger brännbara gaser)
LTH	Lund Tekniska Högskola
Nöddumpning	Snabb dränering
Premix	Blandning av vatten och skumvätska
Slop-over	Mindre överkokning, översjudning
SMC	Släckmedelscentralen
SP	Statens Provnings- & Forskningsinstitut (Borås)
SPI	Svenska Petroleuminstitutet
SRV	Statens Räddningsverk
SVEBAB	Svenska Brandslangfabriken AB

# Innehållsförteckning

<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 SYFTE .....	1
1.2 BAKGRUND.....	1
1.3 STATISTIK.....	2
1.3.1 Största släckta cisternen.....	3
1.4 METOD .....	4
1.5 FRÅGESTÄLLNINGAR .....	5
1.6 DISPOSITION .....	6
<b>2 DAGENS CISTERNBRANDSKYDD</b> .....	<b>7</b>
2.1 ALLMÄNT .....	7
2.2 KONSTRUKTIONER.....	9
2.3 FASTA SYSTEM.....	10
2.4 SEMI-FASTA SYSTEM .....	10
2.5 BOTTENINFÖRING .....	11
2.5.1 Subsurface.....	11
2.5.2 Semisubsurface.....	11
2.6 PÅFÖRING ÖVER TOPP .....	11
2.6.1 Rim Seal.....	11
2.7 MOBILA SYSTEM .....	12
2.7.1 SMC.....	12
2.7.2 Planering och metoder vid mobil släckning av stora oljebränder.....	13
2.7.2.1 Allmänt.....	13
2.7.2.2 Räddningsverkets rekommendationer .....	13
2.7.2.3 Att lyckas med en insats vid brand i olja eller oljeprodukter.....	13
2.7.2.4 Insatsledarens förberedelser och agerande inför släckning.....	14
2.7.2.5 Släckning då förutsättningarna har optimerats.....	14
2.8 ANVÄNDBARA SLÄCKSYSTEM VID INVALLNINGSBRÄNDER .....	14
<b>3 OBJEKTSBESKRIVNING</b> .....	<b>16</b>
3.1 FÖRETAGSBESKRIVNING.....	16
3.1.1 Processbeskrivning.....	17
3.2 53-OMRÅDETS BAKGRUND OCH FUNKTION .....	18
3.3 CISTERNER .....	19
3.4 INVALLNING .....	19
3.4.1 Nöddumpning av invallning .....	19
3.5 53-OMRÅDETS FASTA BRANDSKYDD.....	20
3.5.1 Cisterner.....	20
3.5.2 Invallning .....	21
3.6 SLÄCKVATTENKAPACITET .....	21
3.6.1 Släckvattenbehov enligt äldre insatsplaner.....	22
3.7 RÄDDNINGSTJÄNSTEN .....	23
3.7.1 Allmänt .....	23
3.7.2 Dimensionering.....	23
3.7.3 Skumvätska.....	23
3.7.4 Personal på stationen och i processen.....	23
3.7.5 Utrustning.....	24

3.7.5.1 Bil 1 .....	24
3.7.5.2 Bil 2 .....	24
3.7.5.3 Bil 4 .....	25
3.7.5.4 Skumsläp .....	25
3.7.5.5 Bil 6 - Förmansbil .....	25
3.7.6 Mobila resurser .....	25
3.7.6 Extern förstärkning .....	27
3.8 EKONOMISKT VÄRDE FÖR 53- OMRÅDET .....	28
<b>4 BRANDSCENARIO.....</b>	<b>29</b>
4.1 STRÅLNINGSBERÄKNINGAR .....	30
4.1.1 Inledning.....	30
4.1.2 Antaganden och begränsningar .....	30
4.1.3 Ämnen.....	31
4.1.4 Resultat från strålningsberäkningar utan vindpåverkan .....	31
4.1.5 Resultat från strålningsberäkningar med vindpåverkan.....	31
4.2 RESONEMANG KRING BRANDSCENARIO OCH STRÅLNINGSBERÄKNINGAR .....	32
<b>5 VÄRMESTRÅLNINGENS INVERKAN PÅ OMGIVNINGEN.....</b>	<b>34</b>
5.1 EXPONERING .....	34
5.2 BRANDSPRIDNING MELLAN CISTERNER.....	35
5.3 STRÅLNINGSEXPERIMENT MOT BRANDSLANGSMODELLER.....	37
5.3.1 Bakgrund.....	37
5.3.2 Syfte.....	37
5.3.3 Utrustning och material .....	37
5.3.4 Utförande .....	38
5.3.5 Resultat för tom brandslang.....	39
5.3.6 Resultat för fylld brandslang.....	39
5.3.7 Resultat för brandslang med flöde .....	41
5.3.8 Resonemang kring strålningsexperiment mot brandslangsm modeller .....	41
5.4 ÖVRIG SLÄCKUTRUSTNING .....	42
<b>6 UPPSKATTAD ÅTGÅNG AV RESURSER FÖR SLÄCKNING .....</b>	<b>43</b>
6.1 ANALYS AV REKOMMENDERADE PÅFÖRINGSKAPACITETER .....	43
6.2 ANALYS AV REKOMMENDERADE PÅFÖRINGSTIDER .....	44
6.3 BEHOV AV SKUMVÄTSKA .....	44
6.4 ANALYS AV TILLGÄNGLIG PÅFÖRINGSKAPACITET .....	44
6.5 PFS-SIMULERINGAR AV FLÖDE OCH TRYCK I BRANDPOSTNÄT .....	45
6.5.1 Syfte.....	45
6.5.2 Beskrivning av PFS.....	45
6.5.3 Utförande .....	45
6.5.4 Resultat.....	46
6.5.4.1 Resultat vid användning av tre pumpar.....	47
6.5.4.2 Resultat vid användning av två pumpar, en elektrisk och en dieseldriven .....	49
6.5.4.3 Diskussion kring flödessimulering.....	52
6.5.5 Felkällor.....	52
6.5.6 Generella slutsatser.....	53

<b>7 FLÖDESBERÄKNINGAR FÖR NÖDDUMPNING.....</b>	<b>54</b>
7.1 UTFÖRANDE .....	54
7.2 INDATA.....	55
7.3 RESULTAT .....	55
7.3 RESONEMANG.....	56
<b>8 KASTLÄNGDFÖRSÖK OCH VINDPÅVERKAN.....</b>	<b>57</b>
8.1 SYFTE .....	57
8.2 UTFÖRANDE .....	57
8.3 RESULTAT .....	58
8.5 RESONEMANG.....	58
<b>9 ÅTGÄRDSFÖRSLAG FÖR 53-OMRÅDET .....</b>	<b>59</b>
9.1 SEKTIONERING AV INVALLNING.....	59
9.2 DRÄNERINGS- OCH NÖDDUMPNINGSSYSTEM .....	60
9.3 INSTALLATION AV SEMI-FAST SLÄCKSYSTEM I INVALLNING .....	61
9.4 UTVÄRDERING AV ETT MEDLEMSKAP I SMC .....	61
9.5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	61
<b>10 GENERELLA SLUTSATSER/DISKUSSION .....</b>	<b>62</b>
10.1 STRÅLNINGSEXPERIMENT MOT GROVSLANG.....	62
10.2 MODELLER FÖR BERÄKNING AV FLAMHÖJD.....	62
10.3 FÖRÄNDRING AV BESTÄMMELSER KRING INVALLNINGSYTOR.....	62
<b>KÄLLFÖRTECKNING .....</b>	<b>63</b>
LITTERATUR.....	63
EJ PUBLICERAD LITTERATUR .....	63
MUNTliga REFERENSER.....	63
ELEKTRONISKA REFERENSER.....	64
<b>BILAGA A - CISTERNBESKRIVNING.....</b>	<b>65</b>
<b>BILAGA B - STRÅLNINGSBERÄKNINGAR UTAN VINDPÅVERKAN .....</b>	<b>75</b>
<b>BILAGA C - STRÅLNINGSBERÄKNINGAR MED VINDPÅVERKAN .....</b>	<b>91</b>
<b>BILAGA D - KONTROLL AV INVALLNING MOT SIND-FS 1981:2, 3.....</b>	<b>101</b>
<b>BILAGA E - STRÅLNINGSFÖRSÖK MOT BRANDSLANG.....</b>	<b>102</b>
<b>BILAGA F – PUMPKURVA OCH INDATA TILL PFS.....</b>	<b>109</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Syfte

På grund av misstänkta brister i befintligt brandskydd vill Preemraff se över sitt interna cisternbrandskydd. Projektet går ut på att utvärdera ett speciellt cisternområde med gemensam invallning på Preemraff Lysekil kallat 53-området. Eftersom cisternerna är skyddade av fasta släcksystem ligger fokus på konsekvenserna av en eventuell invallningsbrand, som kan bli fallet om innehållet ur en eller flera cisterner skulle läcka ut och antändas. I en sådan situation finns idag inget befintligt, fast brandskydd i form av skumpåförare kring invallningen eller stationära skumkanoner i dess närhet. Projektet syftar därmed till att utreda Preemraffs möjligheter vid en mobil släckinsats mot en invallningsbrand idag och om det finns rimliga förslag på åtgärder som skulle kunna förbättra räddningstjänstens möjligheter att bekämpa en brand på området i framtiden. Eventuella slutsatser från projektet ska också kunna utmynna i generella rekommendationer för liknande objekt inom branschen.

## 1.2 Bakgrund

Vårt oljeberoende samhälle kräver stora anläggningar för bearbetning och förvaring av fossila bränslen. Eftersom Sverige inte har några betydande inhemska tillgångar importeras vanligtvis råolja, från utlandet och bearbetas vid något av landets oljeraffinaderier. Importen sker i princip uteslutande via fartygstrafik och produkterna fördelas efter att de förädlats vidare över landet med mindre tankbåtar längs Sveriges kuster.

För att få ned de fasta kostnaderna för bränslet används mycket stora produktionsanläggningar med många och stora cisterner samlade på samma plats. Detta medför att olyckor kan få stora och allvarliga konsekvenser för människor, miljö och produktionsanläggningar. På senare år har man iakttagit vissa klimatförändringar och försökt förstå hur jordens biosfär reagerar när koldioxid nettotillförs systemet. Begrepp som växthuseffekt och global uppvärmning har från mitten av 1980-talet fram till idag tagit allt större plats i debatten. Vissa forskare påstår att oljan snart tar slut medan andra hävdar att det är miljöpåverkan och utvinningskostnader<sup>1</sup> som är avgörande, inte tillgången på olja. Senaste året har råoljepriset varierat kraftigt och vissa perioder stigit till över 70 dollar/fat vilket inneburit enorma vinster för oljeindustrin som bekostats av konsumenterna, vilka är beroende av bränsle till sina fordon. Som ett försök att vända den misstänkta utvecklingen med klimatförändringar framställdes Kyotoprotokollet<sup>2</sup> år 1999 för att minska utsläppen av växthusgaser, framförallt koldioxid. Svenska Oljekommissionen, med Göran Persson i spetsen, presenterade år 2005 en vision om att Sverige ska bli oljeberoende<sup>3</sup> senast år 2020 och då övergått från råoljebaserade bränslen till förnyelsebara bränslen i form av alkoholer, biogas och vätgas. Oljekommissionens rapport om hur detta ska gå till presenterades i juni 2006. Oavsett om detta kommer att bli verklighet eller inte behöver det inte innebära att infrastrukturen för bränslen såsom cisternkonstruktioner måste avvecklas. Cisterner kommer att behövas för framtida bränslen och riskerna kommer att vara likartade för stora, invallade cisternområden.

---

<sup>1</sup> <http://www.spi.se/> (hämtat 2006-06-06)

<sup>2</sup> [http://www.regeringen.se/download/eda315a4.pdf?major=1&minor=47871&cn=attachmentPublDuplicator\\_0\\_attachment](http://www.regeringen.se/download/eda315a4.pdf?major=1&minor=47871&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment) (hämtat 2006-06-06)

<sup>3</sup> <http://www.regeringen.se/sb/d/6791/a/63715> (hämtat 2006-06-06)

### 1.3 Statistik

Historiskt sett har totalt 480<sup>4</sup> cisternbränder rapporterats under åren 1951-2003, se tabell 1:1.

Tabell 1:1 Historik över inträffade cisternbränder<sup>5</sup>

Decade	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
No. of fires	13	28	80	135	161	62*

\*) Last fire identified 2003-09-28

Statistiken bör dock inte ses som exakt enligt författarna till "Tank Fires". Insamling av statistiken har skett både via skriftliga och muntliga källor. De skriftliga källorna består av allt från detaljerade insatsrapporter till små kortfattade tidningsartiklar. De rapporterade brandtillbuden har också varierat i storlek vilket innebär att alla rapporterade bränder inte medfört storskaliga insatser. Dock kan slutsatsen dras att totala antalet cisternbränder ökat för varje årtionde.

I skrivandets ögonblick har den senaste cisternbranden (2005) drabbat oljedepån i Buncefield<sup>6</sup> strax norr om London. Vid olyckan totalförstördes 20 cisterner till ett sammanlagt värde av 7-14 miljarder kronor. Detta visar att bränder i cisternområden kan få enorma ekonomiska konsekvenser. I Sverige har endast en stor cisternbrand inträffat<sup>7</sup> (1956) under den tid landet använt olja och bensin.

Den vanligaste brandorsaken för cisternbränder är enligt Tank Fires blixtnedslag. Av de 480 rapporterade brandtillbuden har 150 orsakats av just blixtnedslag.

<sup>4</sup> Persson, Henry; Lönnemark, Anders. "Tank Fires-Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Projekt 513-021". Borås: Statens provnings- & Forskningsinstitut. SP-Report 2004:14

<sup>5</sup> Ibid

<sup>6</sup> Wandrell, Karin; Egardt, Erik. "Branden i Buncefield". Brandsäkert nr 2 2006

<sup>7</sup> [www.spi.se](http://www.spi.se) (hämtat 2006-06-05)

### 1.3.1 Största släckta cisternen

Den största cistern som någonsin släckts har en diameter på 82,4 meter (270 fot) och finns på Orion Refinery, Norco, LA, USA, se figur 1:1. Branden, med tillhörande släckinsats, ägde rum 2001 och orsakades av ett blixtnedslag. Före blixtnedslaget hade den tropiska stormen Allison fått taket på cisternen att delvis sjunka. Cisternen innehöll bensin och brann cirka 12 timmar innan släckning påbörjades. Släckinsatsen utfördes med två skumkanoner á 15100 L/min där 3 % inblandad alkoholresistent skumvätska av typen ATC från 3M användes. Det tog 20-25 minuter att släcka branden och under den tiden gick det åt 106 m<sup>3</sup> skumvätska.<sup>8</sup>



Figur 1:1 Världens största släckta cistern<sup>9</sup>

Eftersom det i Sverige inte finns någon större cistern än den i Orion Refinery, Norco, LA, USA visar denna lyckade insats att alla svenska cisterner är släckbara, med rätt utrustning, skumvätska och taktik.

---

<sup>8</sup> ”Tank Fires-Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Projekt 513-021”

<sup>9</sup> Ibid



## 1.4 Metod

I syfte att underlätta arbetsgången formulerades inledningsvis 5 frågeställningar, se kapitel 1.5. Dessa har allt eftersom projektet fortskridit utgjort ett stöd att falla tillbaka på. Efter att frågeställningarna formulerats och projektet huvudsyfte därmed spikats, inleddes arbetet med litteraturstudier.

För att på bästa sätt uppnå målet med arbetet har ett antal platsbesök genomförts. Då förhandsinformationen kring cisternområdet var knapphändig ansågs en tidig, utförlig dokumentering på plats som absolut nödvändig. I samband med besöket intervjuades befäl på Preemraffs räddningstjänst och även på den kommunala räddningstjänsten i Lysekil.

Då Mikael under sommaren tjänstgjorde som skiftgående brandman på Preemraff Lysekil gavs i samband med denna möjlighet att provköra mobil utrustning och inkludera resultat från dessa försök i rapporten. För att ge rapporten ett för slutdiskussionen intressant inslag valdes att provköra takkanonen på ett av Preemraffs släckfordon i olika vindförhållanden, och utreda hur stor effekt vinden har på kastlängden vid skumpåföring, se kapitel 7.5.

Arbetet har fokuserats på en invallningsyta på Preemraff Lysekil där 10 cisterner med bensinkomponenter vallats in gemensamt, se kapitel 3. Utifrån invallningens dimension har handberäkningar genomförts vad beträffar strålningsintensitet. Hänsyn har tagits till de cisternlagrade produkternas kemiska sammansättning vilket genererat olika scenarier på området.

53-områdets brandpostnät har analyserats med hjälp av programmet PFS där flöde och tryck varierats. Målet med analysen har varit att bedöma om brandpostnätets kapacitet eller den samlade mobila pumpkapaciteten verkar begränsande under en insats.

Förutom platsbesök på Preemraff Lysekil har muntligt resonemang förts med handledare på Brandteknik LTH, forskare på SP och SPI, samt brandmästare Olof Jacobsson (studiebesök) i Torslanda tillika ansvarig för SMC i Region Väst.

Slutligen har ett experiment utförts i samarbete med Svenska Brandslangfabriken, Räddningstjänst Syd och SRV Revinge. Syftet var att under varierande förutsättningar testa och utvärdera olika brandslangars förmåga att motstå värmestrålning.

## **1.5 Frågeställningar**

Efter platsbesöket på Preemraff Lysekil och efter en tids litteraturstudier inom området cistern- och invallningsbränder formulerades 5 frågeställningar. Dessa utgår från en invallningsbrand på ett cisternområde kallat "53-området" hos Preemraff Lysekil. Cisternområdet med tillhörande invallning finns i detalj beskrivet i kapitel 3. Nedan följer de 5 frågeställningarna som arbetet syftar till att besvara:

- 1. Om någon av cisternerna i den gemensamma invallningen börjar läcka och en antändning sker inom invallningen, hur lång tid tar det innan resterande cisterner inkluderas i branden?**
- 2. I vilken omfattning kan faktorerna värmestrålning, vind- och kanonkapacitet påverka skumpåföringen vid en släckinsats av en invallningsbrand och hur avgörande är dessa för resultatet?**
- 3. Finns det skillnader i rekommenderad påföringshastighet mellan olika företag/organisationer och är det någon påföringshastighet som tillämpas mer frekvent än andra vid invallningsbränder?**
- 4. Är företagets mobila utrustning och släckmedelstillgång tillräcklig för att bekämpa en fullt utvecklad invallningsbrand på 53 –området?**
- 5. Vilka rimliga åtgärder skulle kunna förbättra möjligheten att bekämpa en invallningsbrand på 53 –området på Preemraff Lysekil?**

## 1.6 Disposition

Rapportens disposition beskrivs här kortfattat och systematiskt. Syftet är att ge läsaren en snabb inblick i hur rapporten är uppbyggd.

- 1 Rapporten inleds med en beskrivning av syftet och bakgrunden till det aktuella ämnet, invallningsbränder. Innehållet är hela tiden tänkt att återknyta till de fem frågorna som anges i kapitel 1.5 och efterhand också besvara dem.
- 2 För att ge läsaren en inblick i området, beskrivs i kapitel 2 olika cisternkonstruktioner med tillhörande brandskydd, metoder och taktiker för släckning. De rekommenderade och vanligast förekommande metoder för släckning av invallningar lyfts fram och presenteras ingående.
- 3 I kapitel 3 beskrivs objektet, en gemensam invallning av 10 cisterner på Preemraff Lysekil kallat 53-området. Beskrivningen sker utifrån hur objektet ser ut i dagsläget och inga slutsatser eller egna tankar om funktion eller prestanda dras här. Objektsbeskrivningen fokuserar främst på invallningen och allt som kan beröra ett brandscenario i invallningen.
- 4, 5 Brandscenariot presenteras i kapitel 4 där olika aspekter på värmestrålning undersöks och diskuteras. Baserat på en brand i invallningen beräknas intensiteten av värmestrålningen på olika avstånd från branden. Dessa resultat ligger till grund för påföljande experiment med strålning mot brandslang i kapitel 5. Värmestrålning mot omgivningen och direkt flampåverkan mot cisterner diskuteras också och i detta kapitel.
- 6 Åtgången av släckresurser vid en invallningsbrand beräknas i kapitel 6. Fokus ligger på skumvätska och släckvatten.
- 7 Systemet för nöddumpning av invallningen analyseras i kapitel 7 och resultaten jämförs med angivet flöde i objektsbeskrivningen.
- 8 I kapitel 8 presenteras ett experiment med kastlängd i med- och motvind, med en av Preemraff Lysekils brandbilar där tak-kanonen använts.
- 9 Analyserna som utförts utmynnar i ett åtgärdsförslag i kapitel 9, som enligt författarna kan höja brandsäkerheten för 53-området.
- 10 Slutligen presenteras i kapitel 10 några generella rekommendationer som hela brand-branschen kan ta del av.

## 2 Dagens cisternbrandskydd

Bränder i cisterner och invallningar kan släckas med liknande system och tekniker. Därför beskrivs de olika släcksystemen som idag tillämpas och en kort utvärdering utförs angående vilka som är lämpliga för invallningar.

### 2.1 Allmänt

Om en cisternbrand bryter ut finns det initiiellt två beslut att välja mellan. Antingen får cisternen brinna tills bränslet tar slut eller så inleds ett släckförsök. Enligt statistik<sup>10</sup> har det i vissa fall visat sig att kostnaderna för släckinsatser blivit lika höga som värdet av den råolja eller produkt som lagrats i den branddrabbade cisternen/cisternerna. Det kan då tyckas att släckning inte alltid måste vara ett givet val. Eftersom petroleumprodukter har en genomsnittlig avbrinningstid på 4-6 mm/min<sup>11</sup> kan det dock ta flera dagar innan cisterninnehållet brunnit ut, vilket innebär att släckning i princip är ett krav från samhället. En brinnande cistern medför risk för hetzonsbildning vilket innebär att värmen från branden fortplantar sig ner i cisternkonstruktionen. Denna uppvärmning kan leda till boiler om branden inte stoppas. Dessutom kommer omgivningen att påverkas av luftföroreningar så länge branden fortgår.

För att skydda anläggningar som lagrar brandfarliga vätskor i cisterner används idag olika typer av fasta eller semi-fasta system där skum med olika metoder kan föras på den brinnande vätskeytan<sup>12</sup>. Tanken med de fasta systemen är att bekämpa branden i ett tidigt skede i syfte att undvika långa, ovissa släckinsatser som medför höga kostnader och givetvis betydande risker för räddningspersonalen. Tillgång till mobil utrustning är dock en viktig del av brandskyddet för stora lagrings-konfigurationer innehållande olja eller oljebaserade produkter i de fall fasta eller semifasta system saknas. I de fall de installerats kan heller aldrig risken för att de slås ut av branden elimineras.

Enligt lagen om skydd mot olyckor skall innehavare av cisterner med brandfarlig vara hålla utrustning för brandsläckning.<sup>13</sup>

*4 § Vid en anläggning där verksamheten innebär fara för att en olycka skall orsaka allvarliga skador på människor eller miljön, är anläggningens ägare eller den som utövar verksamheten på anläggningen skyldig att i skäligen omfattning hålla eller bekosta beredskap med personal och egendom och i övrigt vidta nödvändiga åtgärder för att hindra eller begränsa sådana skador.*

Denna paragraf ligger till grund för att de som bedriver verksamhet med cisterner innehållande brandfarlig vara måste ansvara för att släckkapacitet finns att tillgå vid en eventuell brand.

---

<sup>10</sup> ”Tank Fires-Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Projekt 513-021”

<sup>11</sup> Räddningsverket Karlstad, Räddningstjänstavdelningen. ”Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs”. 2001

<sup>12</sup> Ibid

<sup>13</sup> SFS 2003:778 kap 2

Sprängämnesinspektionens föreskrifter, SÄIFS 2000:2 avsnitt 6.2.2<sup>14</sup>, preciserar mer utförligt hur invallningar skall utformas för att uppnå en acceptabel nivå med avseende på brandsäkerhet och miljöhot i områden som lagrar stora mängder brandfarlig vätska.

*6.2.2 En invallning, avledning eller annan teknisk lösning, för att förhindra att ett utsläpp sprids okontrollerat, skall vara beräknad och konstruerad utifrån*

- den förvarade mängdens volym,
- vätskans klassindelning,
- antal cisterner eller lösa behållare som finns, och
- vid ny- eller ombyggnation, det behov av kyl- och släckvatten som kan finnas.

En förändring av Sprängämnesinspektionens föreskrift, som för det här arbetet är viktig att lyfta fram, är att det efter år 2000 är ett krav att nybyggnationer skall vara släckbara. Ett avsnitt ur föreskriften förklarar vad som menas med nybyggnation:

*Ny- eller ombyggnad*

*Med ombyggnad menas t.ex. att*

- invallning byggs kring cistern som inte tidigare varit invallad eller
- cisterner modifieras så att brandfarliga vätskor klass 3 eller 2b byts mot brandfarliga vätskor klass 2a eller 1.

*Med nybyggnad menas t.ex. att*

- ny förvaringsplats med cisterner byggs,
- lagringskapaciteten väsentligt ökas på icke invallade cisternområden, eller
- fler cisterner installeras inom befintlig invallning.

I föreskriftens allmänna råd framhålls vikten av att samråda med lokal räddningstjänst vid den geometriska utformningen av invallningen. Släckresurser skall dessutom finnas att tillgå för att bekämpa en eventuell brand. I de allmänna råden uttrycks det på följande sätt:

*Area och utformning på invallning eller avledning bör bestämmas i samråd med räddningstjänsten i kommunen. Det är viktigt att invallningen eller avledningen inte tar upp större area än att räddningstjänsten har möjlighet och resurser att kunna bekämpa en uppkommen brand.*

För cisternområden uppförda innan år 2000 gäller inte ovan nämnda krav på att invallningar skall vara släckbara. I de allmänna råden beskrivs hur sektionering av stora invallningar skapar mer hanterliga cisternområden, jämfört med om ingen åtgärd görs. Viktigt vid sektionering är dock att huvudvallen fortfarande uppfyller de äldre föreskrifterna, som bland annat beskriver hur stor andel av cisternernas innehåll som skall rymmas i invallningen, se bilaga D.

---

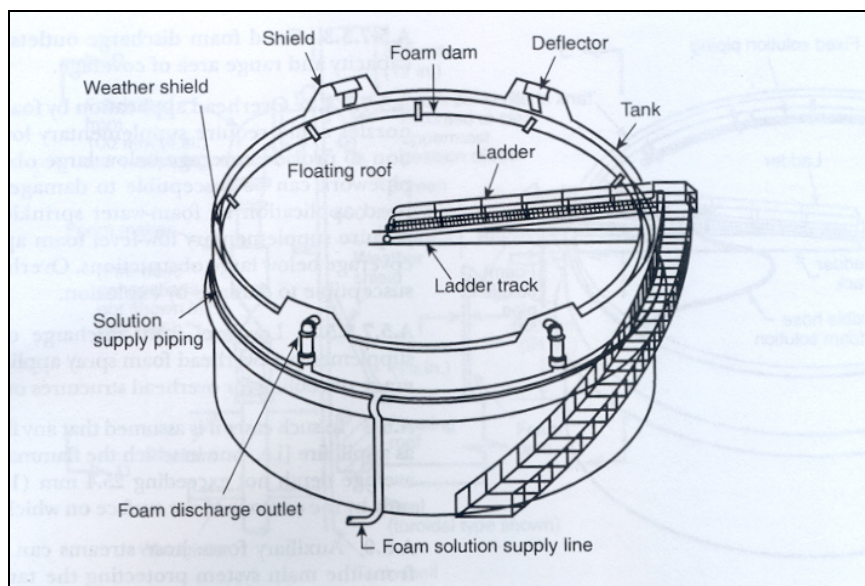
<sup>14</sup> SÄIFS 2000:2, Sprängämnesinspektionens Författningssamling, avsnitt 6.2.2

## 2.2 Konstruktioner

Vid val av fasta släcksystem och vilken utrustning som bör användas måste hänsyn tas till hur cisternen är konstruerad. Konstruktioner av cisterner kan delas in i fyra grupper<sup>15</sup> vilka beskrivs nedan i figur 2:1-4.



Figur 2:1 Cistern med fast tak<sup>16</sup> (Kemira olyckan 2005, Helsingborg)

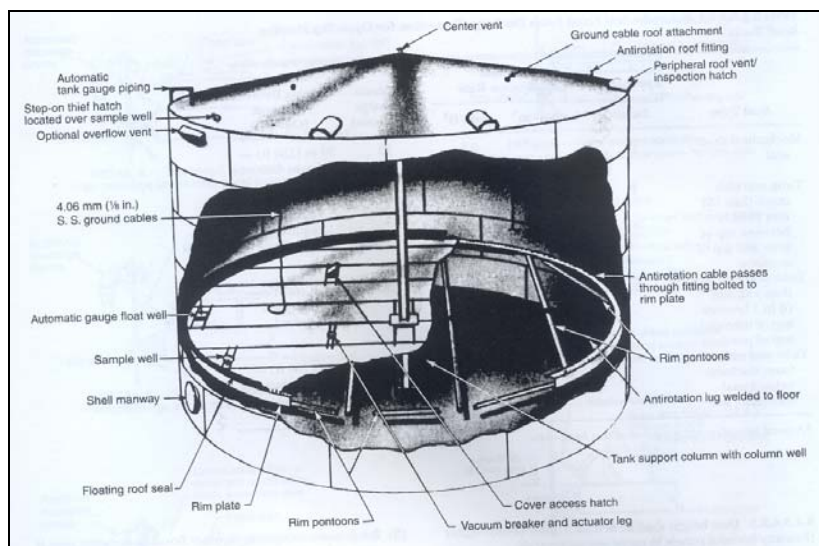


Figur 2:2 Cistern med yttre flytande tak<sup>17</sup>

<sup>15</sup> ”Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs”

<sup>16</sup> <http://www.helsingborg.se/upload/Nyheter/Kem2006%20folder.pdf> (hämtat 2006-12-05)

<sup>17</sup> NFPA 11 (National Fire Protection code 11).” *Standard for Low-, Medium- and High-expansion Foam*”. Quincy, MA, USA. 2005



Figur 2:3 Cistern med invändigt flytande tak<sup>18</sup>



Figur 2:4 Halvsfär<sup>19</sup>

## 2.3 Fasta System

Ett fast skumsläckningssystem för en cistern är konstant uppkopplat både till brandvattennät och till ett förråd av skumvätska. Rördragning och pump är av stationärt slag och finns därmed alltid på plats. Systemet aktiveras i princip genom att trycka på en knapp<sup>20</sup>.

## 2.4 Semi-fasta System

Ett semi-fast system innebär att själva rördragningen vid cisternen och skumbegjutningsdelarna är fast monterade<sup>21</sup>. Mobila enheter kan koppla upp sig och förse systemet med vatten och skum. Själva

<sup>18</sup> NFPA 11

<sup>19</sup> Foto taget av författarna

<sup>20</sup> ”Tank Fires-Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Projekt 513-021”

<sup>21</sup> Ibid

platsen för uppkopplingen ska vara placerad på ett säkert avstånd<sup>22</sup> där branden inte kan förhindra påföring.

## 2.5 Botteninföring

Det finns två typer av system för botteninföring av släckmedel. Båda typerna kan byggas som fasta eller semi-fasta system.

### 2.5.1 Subsurface

Ett system för botteninföring<sup>23</sup> av skumvätska och vatten innebär att ett särskilt tryckskumrör ansluts till en ledning som leder in i cisternens botten. Tryckskumröret bildar skum trots att det måste övervinna det mottryck som utgörs av bränlehöjden i cisternen. Det bildade skummet flyter sedan upp till vätskeytan och släcker branden. Systemet utnyttjas ofta för cisterner utan flytande tak innehållande petroleumprodukter.

### 2.5.2 Semisubsurface

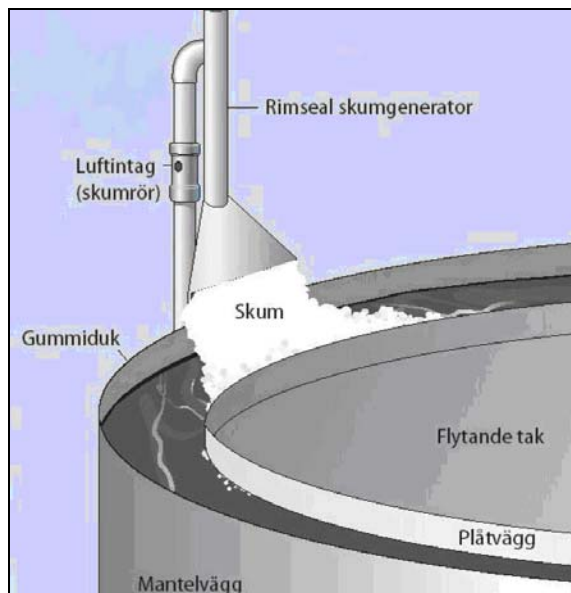
Botteninföring med hjälp av en flytande slang som reser sig från botten av cisternen och påför skum i samma nivå som vätskeytan<sup>24</sup>. Vid brand i polära produkter är detta ett bra val eftersom skummet annars riskerar att lösa sig i bränslat.

## 2.6 Påföring över topp

Förutom påföring med mobila enheter kan också fasta system utnyttja denna princip för alla typer av cisterner. Principen innebär att påföring av släckmedel sker ovanifrån ned mot vätskeytan.

### 2.6.1 Rim Seal

För ej överbyggda cisterner med flytande tak kan påföring över topp ske längs cisternkanten som då avgränsas med en kant för att hålla skummet på plats, se figur 2:5.



Figur 2:5 Rim Seal system<sup>25</sup>

<sup>22</sup> NFPA 11

<sup>23</sup> Rosander, Mats. "Skumboken". Räddningsverket. 1990

<sup>24</sup> NFPA 11

<sup>25</sup> Särdaqvist, Stefan. "Vatten och andra släckmedel". Räddningsverket: Revinge. 2002



## 2.7 Mobila System

Om fasta och/eller semi-fasta systemen slås ut eller saknas vid brand i anläggningar eller depåer som lagrar stora mängder råolja eller råoljebaserade produkter måste mobil utrustning användas.



Figur 2:6 Mobila system<sup>26</sup>

Mobila släcksystem vid storskalig oljebrandsläckning utgörs av en rörlig brandstyrka med tillgång till mobila skumkanoner, kraftiga mobila pumpar med kapaciteter i storleksordningen 10 000 l/min (se kapitel 3.7), bärbara kanoner, slang av grova dimensioner (se kapitel 5.3) med mera.

### 2.7.1 SMC

För att klara av större cisternbränder och brandscenarier som inte en normalt dimensionerad räddningstjänst kan ingripa mot har oljebolagen gått samman och bildat SMC<sup>27</sup> (SläckMedelCentralen). På så sätt uppfylls lagen<sup>28</sup> och kostnaderna blir lägre jämfört med om varje enskild innehavare av farligt gods skulle stå för brandskyddet själv. Organisationen bygger på ett samarbete mellan räddningstjänsten och oljeindustrin där industrin köpt in storskalig släckutrustning och skumvätska till fyra resursdepåer. Räddningstjänsten i Göteborg, Stockholm, Malmö och Sundsvall står för den operativa insatsen vid cisternbränder. Enligt räddningsverket<sup>29</sup> ska SMC alltid tillkallas vid cisternbrand och då ska de två närmsta resursdepåerna larmas.

<sup>26</sup> [www.salabrand.se](http://www.salabrand.se) (hämtat 2006-10-03)

<sup>27</sup> [www.spi.se](http://www.spi.se) (hämtat 2006-09-10)

<sup>28</sup> SFS 2003:778 kap 2 §4

<sup>29</sup> Räddningsverket Karlstad, Räddningstjänstavdelningen. "Brandskydd i oljedepå – rekommendation". 2000

## 2.7.2 Planering och metoder vid mobil släckning av stora oljebränder

Informationen till följande kapitel är hämtad från Räddningsverket<sup>30</sup>, en rapport från Statens provnings- och forskningsinstitut i Borås<sup>31</sup> samt utifrån personlig kommunikation med Olof Jacobsson<sup>32</sup> på Torslanda brandstation på Hisingen, Göteborg. Nedan följer en sammanställning av rekommenderad taktik och tillvägagångssätt vid släckning av stora oljebränder med mobila enheter.

### 2.7.2.1 Allmänt

Släckning av oljebränder i stor skala är mycket resurskrävande. Det faktum att stora mängder petroleumprodukter lagras på ett och samma ställe innebär höga krav på förebyggande åtgärder. Som beskrivits tidigare låter i regel organisationer som i stor skala lagrar petroleum i cisterner installera en rad olika tekniska lösningar såsom fast- och semifast släckutrustning i anslutning till cisternerna. Givetvis ger denna utrustning i kombination med ett effektivt detektionssystem möjlighet att bekämpa branden i ett tidigt skede, vilket är att föredra.

Tyvärr sker inte alla brandförlopp i cisternområden på ett sådant sätt att den fasta- och semifasta släckutrustningen kan användas. Om en brand skulle slå ut släckutrustningen står hoppet om en lyckad släckning istället till mobila enheter. Det kan tyckas övermäktigt att bekämpa bränder i cisternlager, men faktum är att det finns många exempel på lyckade insatser. Som nämns i kapitel 1.4 har en cistern i USA med en diameter på 82 meter släckts med mobila enheter!

### 2.7.2.2 Räddningsverkets rekommendationer

Räddningsverkets förslag på planering vid storskalig oljebrandsläckning<sup>33</sup> framhåller följande fyra funktioner:

- Vattentillgång- tillräckligt flöde och tryck
- Resurser- att utrustningen och tillgången på skumvätska är tillräcklig
- Logistik- samlingsbegrepp för samordningen vid beslutsfattande samt de tillgängliga resurserna i form av materiel och personal.
- Taktik- insatsens genomtänkta tillvägagångssätt

Dessa fyra punkter framhåller i princip alla världens framstående experter inom storskalig oljebrandsläckning som grundförutsättningar. Ursprungligen är det familjeföretaget Boots & Coots från Texas som framhåvt just dessa funktioner. Företaget har troligtvis den största praktiska erfarenheten i världen idag inom storskalig oljebrandsläckning med över 200 lyckade släckinsatser bakom sig.<sup>34</sup>

### 2.7.2.3 Att lyckas med en insats vid brand i olja eller oljeprodukter

Vid en insats är själva tiden fram till påföring inte så viktig. Att stressa upp sig och försöka inleda släckningen så snabbt som möjligt rekommenderas inte. Desto viktigare är de förberedelser som måste ske innan skumpåföringen startar. Vid skumsläckning är det oerhört viktigt att se till att risken för ett eventuellt misslyckande elimineras innan insatsen påbörjas. Det handlar mycket om insatsledarens mentala förberedelse, eftersom denne vid tiden för beslut måste ha försäkrat sig om att utgångsläget är bästa tänkbara. Han eller hon måste gå igenom insatsen flera gånger om för sig själv, rådfråga andra och försöka att vara så cool som möjligt. I initialskedet kommer följaktligen insatsledarens roll i fokus och nedan redovisas förslag i punktform för ett lyckat resultat.

---

<sup>30</sup> Ibid

<sup>31</sup> Persson, Henry. ”Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder”. Borås: Statens provnings- & Forskningsinstitut. SP-rapport 1992:02

<sup>32</sup> Jacobsson, Olof. Storgöteborgs Räddningstjänstförbund, SMC-koordinator region väst. Personlig kommunikation och studiebesök

<sup>33</sup> ”Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs”

<sup>34</sup> Jacobsson, Olof. Storgöteborgs Räddningstjänstförbund

Observera att många detaljer inte tagits med här utan att punktlistan snarare är en sammanställning av de viktigaste råden som vanligen framhävs av expertis och oljebolag för planering och utförande av storskalig, mobil oljebrandsläckning<sup>35</sup>.

#### **2.7.2.4 Insatsledarens förberedelser och agerande inför släckning**

Informationen till följande punkter, som författarna framhäver som viktiga, är hämtad från Statens provnings- och forskningsinstitut<sup>36</sup>, Räddningsverket<sup>37</sup> samt utifrån personlig kommunikation med Olof Jacobsson<sup>38</sup>.

- Efter larmet försöker insatsledaren i lugn och ro med olika medel skapa sig en bild av olycksplatsen i syfte att få ett bra underlag inför planeringsarbetet tillsammans med brandstyrkan. Information som är viktig i detta skede är bland annat i vilken omfattning det brinner, vad som brinner, hur området kring olycksplatsen ser ut och vilka släckresurser som kan bli nödvändiga och om dessa finns tillgängliga.
- Evakuerar närområdet omgående om det bedöms nödvändigt.
- Beordrar komplettering av skumvätska till platsen samt extra påföringsresurser, det finns ingen anledning att spara in på detta! Vattentillgång i form av tillräckligt tryck och flöde anses av Boots & Coots vara mycket viktigt för att uppnå ett lyckat släckresultat.
- Samlar styrkan på ett lämpligt ställe, helst där olycksplatsen kan skissas upp på en tavla eller dylikt. I detta skede är det mycket viktigt att ett lugn bibehålls så att informationen insatsledaren förmedlar går fram och att även styrkan kan komma med viktiga synpunkter och idéer. Insatsen går igenom från början till slut utan att ha branden i blickfånget, så att alla får reda på vad som väntar utan att samtidigt stressas och distraheras. Det är även viktigt att alternativa lösningar diskuteras och mentalt förbereds om någon utrustning skulle haverera eller om branden ändrar karaktär.
- Ser till att alla delaktiga äter och dricker i samband med förberedelserna. Det är inte bara den tekniska utrustningen som ska sättas på prov.
- Säkerställer att det logistiska ansvaret är fördelat inom gruppen.
- Planerar för avlösning av brandstyrkan.

#### **2.7.2.5 Släckning då förutsättningarna har optimerats**

- Skumkanoner placeras på ett sådant sätt att påföring sker med vinden i ryggen och att träffbilderna vid påföringen kan koncentreras till en punkt på den brinnande ytan. Då erhålls en lokalt mycket hög påföringshastighet per ytenhet. Denna teknik är till fördel för skummets möjlighet att "få fäste" och breda ut sig snabbt på den brinnande vätskeytan. Målet är att få skummets utbredningshastighet att överstiga takten med vilken det konsumeras av flammorna.
- Släckning inleds då det är absolut säkerställt att resurser på plats med god marginal överstiger de rekommenderade. Ovan nämnda oljebolag och experter på området i världen räknar kallt med att en viss del av utrustningen havererar och kompenseras i olika hög grad för detta.

### **2.8 Användbara släcksystem vid invallningsbränder**

Rapportens fokus ligger enligt titel och syfte på invallningsbränder och därför är det viktigt att utreda hur en invallningsbrand kan bekämpas. Dimensionerande lösningar<sup>39</sup> finns där invallningar av cisterner med brandfarlig vätska kan skyddas med både fasta och semifasta system. Detta innebär att skumrör och rördragningar till skumrör monteras vid invallningen, färdiga att användas vid ett brandscenario. Det rör sig då om "över-topp påföring" i invallningen, författarna har inte hittat något fall av botteninföring vid brand i invallning.

---

<sup>35</sup> SP-rapport 1992:02

<sup>36</sup> SP-rapport 1992:02

<sup>37</sup> "Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs"

<sup>38</sup> Jacobsson, Olof.

<sup>39</sup> NFPA 11

Mobila resurser såsom SMC kan givetvis också inväntas vid bekämpning av invallningsbränder och krävs också för att ett semi-fast system skall fungera. Enligt SMC:s taktik<sup>40</sup> betraktas en invallningsbrand likvärdigt med en cisternbrand och skall bekämpas på samma sätt.

---

<sup>40</sup> Jacobsson, Olof. Personlig kommunikation

### 3 Objektsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning av raffinaderiet samt objektet (53-området) vilket utvärderas med avseende på brandskydd. Objektsbeskrivningens omfattning har anpassats efter projektets inriktning.

#### 3.1 Företagsbeskrivning

Oljeraffinaderiet Preemraff Lysekil är beläget vid Brofjorden i Lysekils kommun på Sveriges västkust. Invigningen skedde 1975 med OK och Texaco som ägare och raffinaderiet hette då Scanraff. År 2003 blev en uppgörelse klar som innebar att Preem Petroleum AB köpte upp hela verksamheten och den 20:e januari 2005 upphörde Scanraff att vara ett enskilt bolag. Detta innebär att raffinaderiet numera drivs som en division inom Preem Petroleum AB.

Raffinaderiet är Skandinaviens största och har en kapacitet att raffinera 10 miljoner ton råolja per år. Råoljan kommer i huvudsak från Ryssland, Nordsjön och Mellanöstern och importeras via en råoljehamn. Preemraff Lysekil producerar huvudsakligen bensin, diesel, propan, propen, tunga eldningsoljor och bunkeroljor. Dessa produkter och vissa andra komponenter lagras i tankar ovan jord och i bergrum innan de lastas ut vid någon av produkthamnens kajplatser.

Företaget är miljöcertifierat enligt ISO 14001:2004 vilket bland annat innebär att en omfattande reningsinsats av avloppsvatten och rökgaser bedrivs. Reduktion av kväveoxider till luften och svavelåtervinning är andra exempel på åtgärder som sker i syfte att förbättra verksamhetens miljöanpassning.

Preemraff Lysekil har 570 anställda varav 250 arbetar skift. Antalet verksamma entreprenörer på området varierar kraftigt. Vid nybyggnationer och revisionsstopp kan det totala antalet entreprenörer uppgå till 1500 personer. Företaget är uppdelat i sju sektioner enligt tabell 3:1.

Tabell 3:1 Företagets olika sektioner

Sektion	Ansvarsområde
Stab	IT, kvalitetssäkring, affärsutveckling samt övergripande frågor gällande energi och säkerhet.
Underhåll & Nybyggnationssektionen	Löpande underhåll, inspektion, inköp och förrådshållning, samt projektering av nya anläggningar.
Supply & Distributionssektionen	Planering av råoljor och produkter samt att produkterna följer givna produktspecifikationer.
Ekonomisektionen	Kostnadsuppföljning
Personalsektionen	Personalfrågor samt arbetsmiljöärenden
Tekniska sektionen	Assisterar övriga sektioner med förbättringsåtgärder som kan gälla nya investeringar, driftoptimering och driftstöd
Produktionssektionen	Driften av processanläggningarna

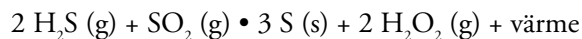
### 3.1.1 Processbeskrivning

På Preemraff Lysekil läggs mycket arbete ned på att framställa helt svavelfri bensin och diesel som i framtiden kan göra det möjligt att bygga bränslesnålare motorer. Som nämnts tidigare importerar rå-oljan via råoljehamnen. Därefter pumpas den i land och lagras i ett antal berggrum och cisterner. Ur råoljan framställs efter ett antal steg färdiga oljeprodukter. Exempel på produktionsprocesser på Preemraff Lysekil är råoljedestillation, avsvavling, isomerisering, termisk samt katalytisk krackning. Nedan beskrivs kortfattat de olika processerna. På grund av projektets omfattning och inriktning begränsas beskrivningen av raffinaderiets processer till dessa exempel.

Råoljedestillation sker inledningsvis efter att råoljan pumpats in i raffinaderiets processdel från cistern- och berggrumslager. I ett särskilt destillationstorn, även kallat råoljetornet, separeras råoljan genom uppvärmning. Då kokpunkter för kolväten i råolja varierar skiljs de åt vid olika temperaturer och leds ut på olika höjder av tornet. De fraktioner, som erhålls vid destilleringen, benämns gas, nafta, fotogen, gasolja och återstod. Bortsett från fotogen och en del av återstoden utgör de inte färdiga produkter i detta skede utan kräver vidarebehandling. Fotogen går obehandlad till lagertank för att därefter blandas in i diesel- och eldningsolja. Återstod som inte vidarebehandlas går till viss del även den till lagertank, men blandas i stället in i tjockoljeprodukter.

Avsvavling innebär som ordet antyder att svavel avlägsnas. En stor del av Preemraff Lysekils verksamhet går ut på att avlägsna svavel ur råolja. Av miljömässiga och tekniska skäl är detta fördelaktigt. Vid förbränning av svavelhaltigt bränsle bildas svaveldioxid vilket bidrar till försurning i mark och vattendrag. I hydraul- och smörjoljor leder även svavel till att det bildas metallsulfider i maskiner, vilket i längden kan vara skadligt.

Metod för avsvavling<sup>41</sup> beror på vilken kolvätefraktion det handlar om. Principen är att svavel i råolja reduceras med hjälp av vätgas till gasformigt svavelväte (H<sub>2</sub>S). Reaktionerna påskyndas genom uppvärmning samt närvaro av katalysator. Svavelvätet i sin tur oxideras till svavel enligt följande reaktionsformel:



Termisk krackning sker då oljan upphettas kraftigt under högt tryck. Följden blir att långa kolväten sönderdelas och bildar kortare kolväten.

Katalytisk krackning sker genom att oljan hettas upp tillsammans med en katalysator. Exempel på katalysatorer är aluminiumoxid och kiseloxid. Fördelen med en katalytisk kracker är att slutproduktens kvalitet kan kontrolleras lättare genom att reglera katalysatormängd och temperatur.<sup>42</sup>

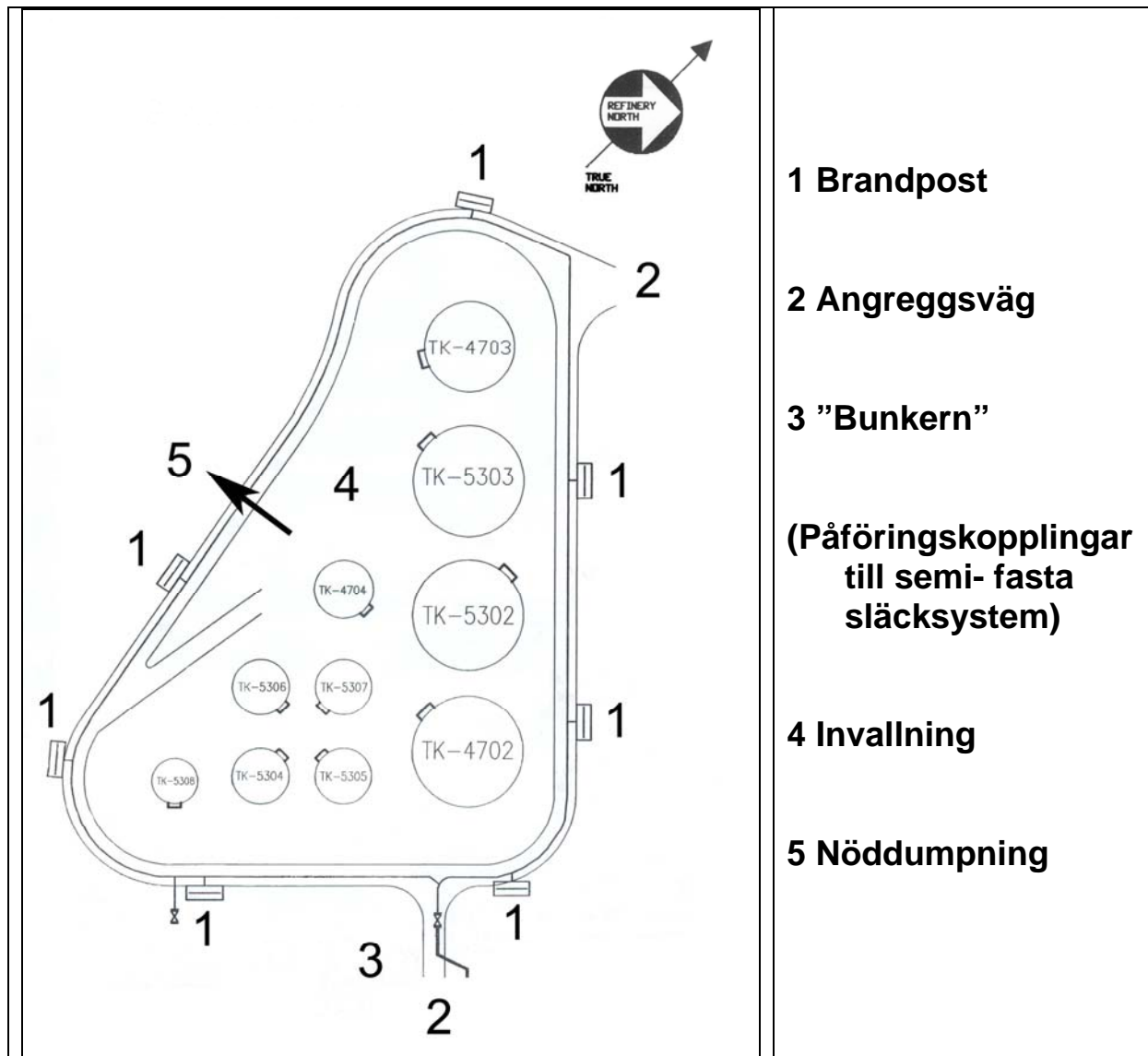
---

<sup>41</sup> <http://www.krc.su.se/raffprojektet/text/Uppdelade%20pdf-filer/sid%20145.pdf#search=%22avsvavling%20bensin%22> (hämtat 2006-09-11)

<sup>42</sup> <http://sv.wikipedia.org/wiki/Krackning> (2006-09-11)

### 3.2 53-områdets bakgrund och funktion

Cisternområdet projekterades i slutet av 1960-talet och då raffinaderiet invigdes 1975 ingick även 53-området. Det är med andra ord lika gammalt som raffinaderiet och används för lagring av mellanprodukter. När råolja raffinerats bildas mellanprodukter som sedan raffinerats ytterligare eller blandas till slutprodukter. Cisternområdet består av 10 cisterner i varierande storlekar, utförande och innehåll. Cisterner med flytande tak och cisterner byggda som halvsfärer finns representerade. Hela cistern-området har en gemensam invallning som kan samla upp eventuella läckage från någon av cisternerna eller anslutande rörledningar.



Figur 3:1 Beskrivning av 53-området

### 3.3 Cisterner

Som framgår av figur 3:1 består 53- området av 10 cisterner i en gemensam invallning. Dessa beskrivs mer utförligt utifrån nedanstående punkter i bilaga A.

- Placering
- Innehåll
- Storlek
- Konstruktion
- Brandskydd

### 3.4 Invallning

Samtliga cisterner på 53-området är placerade i en gemensam invallning för att kunna fånga upp ett eventuellt läckage. Dimensioneringen har skett efter Statens Industriverks Författningssamling<sup>43</sup> som fortfarande är giltig enligt Räddningsverket<sup>44</sup>.

Reglerna i kapitel 3.17 ur denna författningssamling specificerar invallningens rymd om hur stor andel av innehållet i cisternerna som ska kunna rymmas inom invallningen. I bilaga D kontrolleras att kraven uppfylls.

Invallningen upptar en yta på 9 650 m<sup>2</sup>. Det genomsnittliga djupet uppgår till 6 m och dess volym till 57 900 m<sup>3</sup>.

Tabell 3:1 Fakta om invallningen

Area (m <sup>2</sup> )	9650
Djup (m)	6
Volym (m <sup>3</sup> )	57 900

#### 3.4.1 Nöddumpning av invallning

Vid ett eventuellt läckage av produkter till invallningen eller en ansamling av stora mängder släckvatten i samband med en eventuell brand, finns det möjlighet att dumpa innehållet till en damm belägen väster om cisternområdet. På så sätt minskas risken för brandspridning till resterande cisterner inom invallningen om innehållet är brandfarlig vätska, eller att invallningen ”svämmas över” vid en släckinsats.

Dammen är belägen i anslutning till Preemraffs reningsverk, även kallat WWT (Waste Water Treatment). Fördelen med invallningens höga placering i förhållande till dammen är att hävertverkan kan utnyttjas i nöddumpningsröret vid en eventuell dumpning. Dimensionen på detta rör är 12 tum, se figur 3:2, och dess kapacitet då hävertverkan utnyttjas ”överskrider 30 000 l/min”<sup>45</sup>. Förutsättningen för att skapa hävertverkan är att nivån i invallningen når upp till höjden 700 mm över rörmynningen. Efter att denna nivå uppnåtts, och hävertverkan därmed startat, kommer flödet fortgå tills nivån i invallningen sjunkit ca 700 mm jämfört med startnivån. Givetvis är det förhållandet mellan tillförd och dumpad vätska som avgör om nivån sjunker eller stiger. Råkar nivån befinna sig i närheten av rör-mynningen finns även risk att luft sugas med, vilket reducerar flödet. Risken finns även att hävert-verkan upphör helt om nivån är så låg. För att få flödet att starta på nytt måste nivån åter stiga 700 mm ovanför rörmynningen.

Det är också tänkbart att släckvatten vid en insats behöver ledas bort från invallningen. Röret för dumpningen är, som beskrivits ovan, konstruerat för att transportera bort släckvatten och produkter med hävertverkan i eventuella nödsituationer. Normalt är dumpningssystemet stängt med hjälp av en ventil som är placerad väl avskild från invallningen längst ner i slänten mot WWT.

<sup>43</sup> SIND-FS (Statens Industriverks Författningssamling) 1981:2. ”Brandfarliga varor – tillämpningsföreskrifter till förordningen om brandfarliga varor”. Stockholm. 1981 (SIND heter numera Sprängämnesinspektionen och är placerad under Räddningsverket)

<sup>44</sup> Abbassi, Reza. Räddningsverket: Karlstad. Personlig kommunikation

<sup>45</sup> Sandgren, Rickard. Systembeskrivning. Preemraff Lysekil



Vad beträffar det normala dräneringssystemet är detta endast dimensionerat för att föra bort regnvatten från invallningen. I en brandsituation då onormalt stora mängder vätska i form av släckvatten, skumvätska och eventuella produkter från cisternerna tillförs invallningen tas endast nöd-dumpningssystemets kapacitet i beaktning.



Figur 3:2 Rör för nöddumpning<sup>46</sup>

### 3.5 53-områdets fasta brandskydd

I detta kapitel beskrivs hur det befintliga, fasta brandskyddet ser ut på 53-området.

#### 3.5.1 Cisterner

Alla cisterner på 53-området med flytande tak är skyddade med semi-fasta system för över-topp påföring av premix, se bilaga A. De cisterner som har formen av halvsfärer har ett fast vatten-sprinklersystem som vid behov kan kyla cisternen. Systemet kan aktiveras antingen från kontroll-rummet eller från bunkern, se figur 3:3. I bunkern sitter också påföringskopplingar för de semi-fasta systemen på 53-områdets cisterner.



Figur 3:3 Bunkern med påföringskopplingar<sup>47</sup>

För att kunna detektera en brand finns hos alla cisterner med flytande tak en tråd som löper i tätningen mellan taket och cisternväggen. Om tråden brinner av detekteras branden och ett larm går i kontroll-rummet.

<sup>46</sup> Foto taget av författarna

<sup>47</sup> Ibid

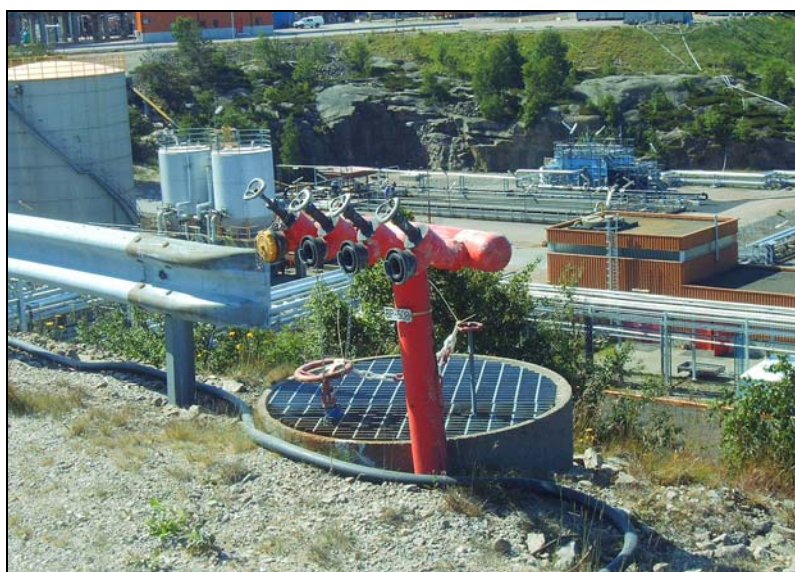
För halvsfärerna finns gasdetektorer placerade i marknivå som larmar till kontrollrummet vid en gas-läcka.

### 3.5.2 Invallning

Någon form av gasdetektering eller fasta, semi-fasta anordningar för skumpåföring i invallningen finns inte. Runt hela invallningen löper en väg som kan användas vid mobil släckinsats. Möjliga angreppsvägar finns från två håll, se figur 3:1.

### 3.6 Släckvattenkapacitet

Runt cisternområdet finns en 8-tums brandvattenslinga, se figur 3:1, till vilken 7 brandposter kopplats. Dessa är jämnt fördelade runt invallningen och kan användas vid mobil påföring av släckmedel mot brand i cistern eller invallning. Ytterligare en brandpost finns utmed den södra angreppsvägen. Avstånd mellan invallning och brandpost är ca 8 meter, variationer på enstaka meter förekommer.



Figur 3:4 Brandpost 8 meter från invallningen med WWT nedanför i bakgrunden <sup>48</sup>

Enligt insatsplan från dåvarande Scanraff är det maximala brandvattenuttaget från slingan ca 25 000 l/min, vid 7 bars tryck när två dieselpumpar är i drift. Dieselpumpar finns installerade på tre olika ställen, se tabell 3:2, och kan vid behov höja trycket i brandvattennätet. Dessutom finns en eldriven pump som ständigt upprätthåller ett tryck på mellan 4 och 5 bar i brandpostnätet. Råolja- och produkthamnens pumpar kan även pumpa upp saltvatten direkt från havet om mycket stora uttag behövs.

Normalt förses brandvattennätet med sötvatten från en 4000 m<sup>3</sup> stor cistern på området, den så kallade råvattentanken. Vid behov finns dessutom en lika stor cistern med så kallat matarvatten att tillgå. Utifrån förses dessa råvattendepåer med vatten via en ledning som har en kapacitet på ca 10 000 l/min. Vid mycket långa insatser, med påföringshastigheter som överstiger 10 000 l/min, kommer med andra ord vattendepåerna tids nog att tömmas. Vid en extrem situation av det slaget krävs att havsvatten pumpas upp i brandpostsystemet via hamnarnas dieselpumpar för att få tillräckliga mängder vatten att föra på. Detta är dock en åtgärd som skulle innebära stor skada på hela brandpostnätet, då saltvattnet förstör utrustning på raffinaderiet som normalt förses med råvatten.<sup>49</sup>

De två brandvattendieslar som installerats i anslutning till råvattentanken används i första hand till att höja trycket i brandpostnätet då detta sjunker till följd av stora uttag. Vid exempelvis bränder i processen startas dessa i syfte att öka vattentillgången vid släckinsatser.

<sup>48</sup> Foto taget av författarna

<sup>49</sup> Larsson, Stefan. Räddningstjänsten Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

Hamnarnas pumpar med havsvatten blir aktuella först vid katastrofala bränder som innebär ett allvarligt hot mot hela raffinaderiet.

Tabell 3:2 Fakta dieselpumpar<sup>50</sup>

Placering av dieselpump	Antal	Maximal kapacitet per pump (l/min)	Arbetsstryck (bar)
Råvattenhuset (RVT)	2	8000	10,4
Produktthamnen	2	7500	12,7
Råoljehamnen	2	7500	13,9

### 3.6.1 Släckvattenbehov enligt äldre insatsplaner

Behovet av släckvatten har efter studier av tidigare insatsplaner förändrats med åren.

Tidiga insatsplaner rekommenderar högre påföringshastigheter än de som tagits fram senare, se tabell 3:3 där olika påföringsflöden mot 53-områdets invallning presenteras.

Tabell 3:3 Påföringsflöden

Referens	Flöde (l/min)
Insatsplan Scanraff (1998-02-04)	48 000
Insatsplan Scanraff (1997-10-24)	48 000
Insatsplan Lysekils räddningstjänst (1970-talet)	76 800

<sup>50</sup> Woxmark, Per. Räddningstjänsten Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

## 3.7 Räddningstjänsten

### 3.7.1 Allmänt

Den mobila utrustningen som finns att tillgå på Preemraffs område är anpassad för att kunna genomföra storskaliga skumsläckningsinsatser med höga påföringshastigheter. Då en stor del av Preemraffs process- och tankkonstruktioner försetts med semifast släckutrustning är den mobila utrustningen anpassad till att förse dessa installationer med rätt mängd släckmedel.

Raffinaderiet förfogar över en förmanbil, tre större släckbilar samt två skumsläp. Nedan följer en närmare beskrivning av räddningstjänsten på Preemraff beträffande dimensionering, mobila utrustning och tillhörande brandstyrka.

### 3.7.2 Dimensionering

Preemraffs mobila styrka är enligt räddningschefen<sup>51</sup> dimensionerad för att kunna släcka en cisternbrand där diametern på cisternen uppgår till 30 m.

En brand i invallningen på 53-området innebär att en mycket större yta brinner och går enligt räddningschefen i dagens läge inte att släcka med befintliga resurser. Skulle en brand inträffa i ett cisternområde är målet att släcka den i ett tidigt skede med fast- och semifast utrustning.

### 3.7.3 Skumvätska

Preemraff Lysekil har ca 150 m<sup>3</sup> lagrad skumvätska av typen FP70. 35-40 m<sup>3</sup> av skumvätskan finns färdiglastad på bilar och släp och kan användas direkt vid en mobil släckinsats. Det finns utöver detta två depåer med skumvätska i raffinaderiets bägge hamnar på tillsammans 40-60 m<sup>3</sup>. Skumvätskan här kan pumpas över till Preemraffs skumsläp och även till en tankbil från den kommunala räddningstjänsten i Lysekil före- och under pågående släckinsats. Resterande skumvätska är utspridd i små tankar tillhörande fasta släcksystem på processområdet. Dessa kan därför knappast användas vid en mobil insats eftersom en eventuell överpumpning skulle bli komplicerad och de tillför heller inte särskilt stora volymer. Detta innebär att det finns tillgång till ca 80 m<sup>3</sup> skumvätska vid en mobil släckinsats. Någon insatsplan för logistik och transport av skumvätska inom området finns inte idag. Behovet av skumvätska vid en invallningsbrand på 53-området har uppskattats i två insatsplaner, se tabell 3:4.

Tabell 3:4 Skumvätskebehov vid invallningsbrand

Referens	Volym (l)
Insatsplan Scanraff 1998-02-24	87 000
Insatsplan Scanraff 1997-10-24	87 000

Insatsplanerna i tabell 3:4 bygger på en påföringshastighet på 5 l/m<sup>2</sup> min och 3 % inblandning enligt Preemraff Lysekils egna bedömningar.

### 3.7.4 Personal på stationen och i processen

Normal bemanning på Preemraffs räddningstjänst är en förman plus tre brandmän. Minimal bemanning är en plus två, vilket ofta blir fallet i semestertider. Utöver skiftgående personal finns även dagpersonal, vilken utgörs av brandmästare tillika räddningschef, samt ställföreträdand räddningschef.

<sup>51</sup> Beillon, Thomas. Räddningschef Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

Under perioder då större utbyggnader sker på raffinaderiet utses i regel en säkerhetsansvarig för det aktuella projektet. Syftet med detta är att avlasta ordinarie brandförman då sannolikheten för olyckor tillfälligt ökar väsentligt med den förhöjda personfrekvensen på området.

Vid brandlarm på Preemraff Lysekil har räddningstjänstens personal en så kallad förststyrka att tillgå. Förststyrkan består av åtta processoperatörer som fördelar sig jämnt på bil 1- och bil 2 alternativt bil 4, efter att de försett sig med skyddskläder från sidofacken på bil 1.

Dessa operatörer är utbildade att utföra enklare uppkopplingsarbete vid skadeplatsen och utgör därmed en extraresurs för brandmännen. Exempel på uppgifter som förststyrkan utför är uppkoppling av brandbilarna på brandposter och utplacering av kanoner för kylning- och/eller skumgivning på av brandförman/brandman angiven plats. Vid läckage kan också processteknikerna försöka strypa flödet i aktuell ledning genom att stänga en berörd ventil. Detta kallas för att ”blocka” flödet.

### 3.7.5 Utrustning

Räddningstjänsten på Preemraff Lysekil har egna släckfordon och andra mobila resurser som alltid finns tillgängliga på raffinaderiet. Här följer en detaljerad beskrivning av de mobila resurserna.<sup>52</sup>

#### 3.7.5.1 Bil 1

Bemannas av en alternativt två brandmän. Vid larm utgår bil 1 som första fordon efter förmansbilen och tar på skadeplatsen emot förststyrkan. Då två brandmän bemannar bil 1 sköter föraren pumpen och passageraren övervakar och bistår förststyrkan i uppkopplingsarbetet om det är aktuellt.

För de flesta bränder på raffinaderiet är de bärbara kanonerna en viktig del av utrustningen. Bil 1 är utrustad med två av dessa kanoner. Kylning av kringliggande objekt samt skumgivning är möjlig tack vare att det till varje kanon finns både ett applicerbart kylmunstycke och ett skumrör.

Den kanske viktigaste utrustningen, åtminstone vid storskalig brandbekämpning, är vatten- och skumtankarna på bilen samt dess takkanon. Den sistnämnda utnyttjas vid kylning och skumgivning. Påföringen kan inledas snabbt och med relativt stor kraft. Mindre poolbränder av opolära bränslen kan med fördel bekämpas med denna kanon. Handlar det om stora ytor, som vid cistern- eller invallningsbränder, krävs dock ofta fler och kraftigare släckenheter för att få ett lyckat resultat.

#### 3.7.5.2 Bil 2

Bemannas av en brandman och utrustningen skiljer sig något från bil 1. I sidofacken finns två bärbara kanoner av samma typ som på bil 1 och dessutom en oscillerande kylkanon.



Figur 3:5 Bil 2 från Preemraff Lysekils räddningstjänst<sup>53</sup>

<sup>52</sup> Woxmark, Per. Räddningstjänsten Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

<sup>53</sup> Foto taget av författarna

En extraresurs på bil 2 är frontkanonen, vilken är placerad i höjd med den främre kofångaren. Denna har inte samma kapacitet som takkanonen, men är lämplig som kylande skydd för bilen vid kraftig värmestrålning. Med manövreringsutrustning i förarhytten kan strålbilden ställas in så att en stor kon av finfördelat vatten med spetsen i kanonmynningen uppstår. Därmed skapas en effektiv avskärmning från branden som skyddar fordon och brandstyrka från höga strålningsintensiteter.

### 3.7.5.3 Bil 4

Detta är det nyaste av släckfordonen på Preemraffs räddningstjänst. Utrustningen påminner om den som finns i bil 2. Frontkanon saknas men takkanon finns. Manövreringsmöjligheter för kanonens flöde och riktning finns i förarhytten samt även i ett av sidofacken i form av en fjärrstyrningslåda med samma manövreringsmöjligheter. Pumptryck och flöde från kanonen visas på display i både sidofacket och förarhytten. Tillhörande knappar och spakar är robusta för att även kunna hanteras med rökdykarhandskar. Fördelen med denna styrning är att brandmannen som sköter kanon och pump inte blir bunden till bilen under insatsen, utan tillåts vara mer rörlig. Därmed ökar möjligheten att få en mer precis påföring då brandmannen kan studera flödet från olika vinklar och avstånd. Även säkerheten ökar då det under pågående insats ges möjlighet att befinna sig på ett betryggande avstånd från branden om det behövs.

### 3.7.5.4 Skumsläp

Utöver bilarna finns även två skumsläp med tillhörande dieselpumpar att tillgå i räddningstjänstens materielhall på Preemraffs område. De rymmer tillsammans ca 24 m<sup>3</sup> koncentrerad skumvätska av typ FP 70. Vid behov kan dessa dras fram av räddningstjänstens fordon och pumpa över skumvätska till släckfordonen.

### 3.7.5.5 Bil 6 - Förmansbil

Räddningstjänstens ledningsfordon, som bemannas av brandförmannen, utgörs av en ombyggd minibuss. Bil 6, som den kallas, är förutom sambandsutrustningen försedd med farligt godspärmar, handbrandsläckare, och en gedigen uppsättning sjukvårdsmateriel.

### 3.7.6 Mobila resurser

Slutligen åskådliggörs samlad, teknisk information över räddningstjänstens släckfordon i tabellerna 3:5 till 3:7.

Tabell 3:5 Preemraff Lysekils mobila släckutrustning

Fordon	Pumpkapacitet (L/min)	Vattentank (m <sup>3</sup> )	Skumtank (m <sup>3</sup> )
Bil 1	6100	3	4
Bil 2	9000	4	5
Bil 4	10000	5	13

Tabell 3:6 Kapacitet för front- och takkanoner på släckfordon

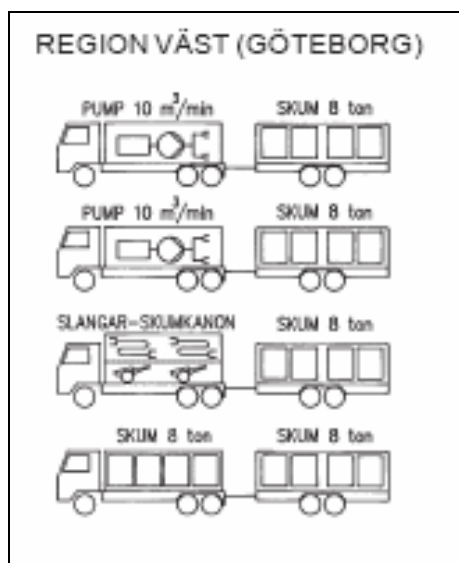
Fordon	Kapacitet takkanon (l/min) (Vid 10 bars tryck)	Kapacitet frontkanon (l/min) (Vid 10 bars tryck)
Bil 1	5000 (full gas)	Frontkanon saknas
Bil 2	5000 (full gas)	1300
Bil 4	7500 (ca 8000 vid full gas)	Frontkanon saknas

Tabell 3:7 Kapacitet för bärbara kanoner på Preemraff Lysekils fordon

<b>Fordon</b>	<b>Antal kanoner</b>	<b>Kapacitet (l/min) med kylmunstycke</b> (Vid 10 bars tryck)	<b>Kapacitet (l/min) med skumrör</b> (Vid 7 bars tryck)
Bil 1	2	2800	1900
Bil 2	2	2800	1900
Bil 4	2	2800	1900

### 3.7.6 Extern förstärkning

Vid en eventuell brand på 53-området tillkallas alltid kommunal räddningstjänst från Lysekil som vid ankomst juridiskt sett tar på sig rollen som räddningsledare<sup>54</sup>. Som räddningsledare finns det stora befogenheter att tillkalla ytterligare släckenheter och utrustning. Lysekils kommunala räddningstjänst har enligt insatsplan som första uppgift att fylla upp sin tankbil med skumvätska från en av raffinaderiets hamnar vid en omfattande insats. Om inte Preemraffs egna släckenheter tillsammans med räddningstjänsten Lysekil räcker till för att släcka branden ifråga, ligger det nära till hands för räddningsledaren att tillkalla SMC. Även om Preemraff Lysekil inte är medlem så kan inte SMC neka att rycka ut vid en direkt order från räddningsledaren. Resursdepån på Torslanda utanför Göteborg ligger då närmast Lysekil och kan inom två<sup>55</sup> timmar förstärka med 40 m<sup>3</sup> skumvätska och en påföringskapacitet på 16 000 l/min, se figur 3:6.



Figur 3:6 SMC:s utrustning för Region Väst<sup>56</sup>

<sup>54</sup> SFS 2003:778

<sup>55</sup> Jacobsson, Olov. Personlig kommunikation

<sup>56</sup> <http://www.spi.se/brandskydd.asp?art=8> (hämtat 2006-07-22)



### 3.8 Ekonomiskt värde för 53- området

Eftersom en invallningsbrand riskerar att förstöra hela 53-området kan det vara intressant att undersöka vilka ekonomiska värden det rör sig om. Det ekonomiska värdet i tankarnas produkter är enligt Preemraff Lysekil<sup>57</sup> jämförbart med konsumentpriset på bensen, men för företaget har reformat, isomerisat och polybensen ett värde av ca 5 kr/liter.

Tabell 3:8 53-områdets samlade cisternvolym

Cistern	Volym (m <sup>3</sup> )
5308	2000
5304	3000
5305	3000
5306	3000
5307	3000
4704	3300
4703	10 000
4702	15 000
5302	15 000
5303	15 000
<b>Summa</b>	<b>72 300</b>

Tabell 3:8 visar cisternernas volym och en snabb beräkning som utgår från att alla cisterner har en fyllnadsgrad på 80 % visar att det rör sig om mycket stora värden:

$$\text{Värde}_{\text{företag}} = \text{Volym} \cdot \text{fyllnadsgrad} \cdot \text{pris} = 72300000 \cdot 0,8 \cdot 5 = 289 \text{ Milj SEK}$$

Ett marknadsvärde för bensen på 11 kr/l antas i följande beräkning.

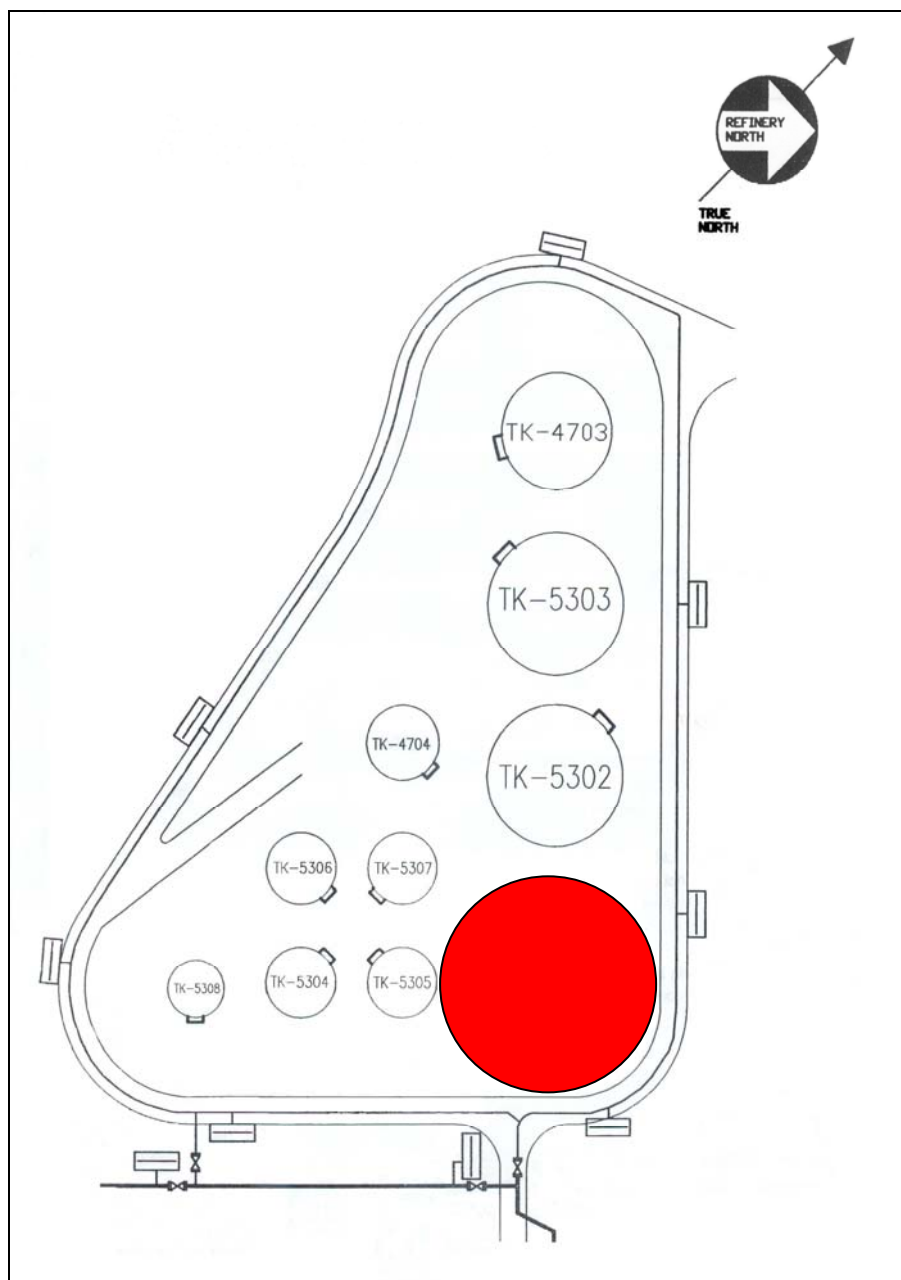
$$\text{Värde}_{\text{marknad}} = \text{Volym} \cdot \text{fyllnadsgrad} \cdot \text{pris} = 72300000 \cdot 0,8 \cdot 11 = 636 \text{ Milj SEK}$$

Själva cisternkonstruktionerna riskerar också att förstöras vid en brand och måste då byggas upp på nytt vilket också skulle resultera i omfattande kostnader.

Slutligen skulle en brand troligtvis orsaka problem för raffinaderiet vid processens slutsteg då bensen och andra produkter ska blandas och slutligen lastas. Eftersom 53-området används just till denna aktivitet kan en brand troligtvis orsaka ett ofrivilligt produktionsbortfall under en längre tid vilket kan resultera i en betydande kostnad.

<sup>57</sup> Processtekniska avdelningen. Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

## 4 Brandscenario



Figur 4:1 Brandscenario med pölbrand inom invallningen

Brandscenariot bygger på en brand i 53-områdets gemensamma invallning som kan inträffa om ett läckage sker från en av områdets 10 cisterner. Därefter, eller i samband med läckaget, antänds produkten och den brinnande vätskan skapar en pölbrand som fyller ut hela invallningen. Strålningsberäkningar utgår dock oftast från cirkulära pölbränder och därför approximeras branden i invallningen till en pölbrand med diametern 50 meter, se figur 4:1. Syftet med brandscenariot och strålningsberäkningarna är att utvärdera strålningsintensiteten vid olika avstånd från branden. Höga strålningsintensiteter kan medföra att brandposter och annan utrustning förstörs. Ett resonemang förs också om spridningsrisken till resterande cisterner i invallningen vid direkt flampöverkan.

Anknytning finns till fråga 1 och 2 i kapitel 1.5:

”Om någon av cisternerna i den gemensamma invallningen börjar läcka och en antändning sker inom invallningen, hur lång tid tar det innan resterande cisterner inkluderas i branden?”

”I vilken omfattning kan faktorerna värmestrålning, vind- och kanonkapacitet påverka skumpåföringen vid en släckinsats av en invallningsbrand och hur avgörande är dessa för resultatet?”

## 4.1 Strålningsberäkningar

I följande kapitel redovisas beräkningar som visar hur höga strålningsnivåerna kan bli på olika avstånd från 53-områdets invallning i händelse av brand. Beräkningsgången kan följas i bilaga B och C.

### 4.1.1 Inledning

NFPA 11<sup>58</sup> anser att påföringskopplingarna till semi-fasta släcksystem måste finnas på ett säkert avstånd, ”safe distance”, från en eventuell brandkälla. Svenska räddningsverket går ett steg längre och definierar detta till ett avstånd där en värmestrålning på 6-8 kW/m<sup>2</sup> inte får överstigas<sup>59</sup>. Påföringskopplingarna till 53-området sitter väl skyddade i en ”bunker”, se figur 3:3, där synfaktorn är i princip noll mot tankfältet. Brandposterna som är fördelade utmed vägen som löper runt invallningen är dock helt oskyddade och därmed fullt exponerade för en eventuell invallningsbrand. Skillnaden i praktisk användning mellan brandposter och påföringskopplingar borde enligt författarna vara marginell. En mobil styrka måste i båda fallen ta sig fram och koppla upp ett slangsystem. Därför kan strålnings-nivån mot en brandpost likställas med strålningen mot en påföringskoppling och Räddningsverkets definition av säkert avstånd enligt NFPA 11 kan användas. Denna strålningsnivå kan också enligt Räddningsverket utgöra en gräns för vad insatspersonal klarar av. Vid 6 kW/m<sup>2</sup> kan en brandman med bra skyddsutrustning arbeta i ca 15-30 minuter förutsatt att hudtemperaturen inte överstiger 45 °C<sup>60</sup>.

Eftersom Preemraff Lysekil ligger granne med västerhavet är området mycket utsatt för vindpåverkan. Därför kan det också vara intressant att använda en strålningsmodell som tar hänsyn till vindhastighet och beräknar strålningen i medvind. För detta ändamål används en holländsk strålningsmodell<sup>61</sup> som genom 13 steg bestämmer strålningen mot en punkt i vindriktningen. Beräkning av värmestrålning sker med och utan vindpåverkan.

### 4.1.2 Antaganden och begränsningar

- Årsmedeltemperatur 10 °C (ca 8 °C enligt SMHI<sup>62</sup>)
- Relativ Fuktighet 90 %<sup>63</sup>
- Årsmedelvindhastighet, 5,8 m/s<sup>64</sup>
- Värden från heptan används vid strålningsberäkning för polybensin då ämnesspecifik information saknas för denna produkt. Heptan är enligt Preemraff Lysekil den dominerande beståndsdelen i polybensin
- Vid strålningsberäkningar med vindpåverkan används återigen ämnesspecifik information från heptan, då fullständig information, som beräkningsmodellen kräver, saknas för polybensin, reformat och isomerisat.

---

<sup>58</sup> NFPA 11

<sup>59</sup> ”Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs”

<sup>60</sup> Ibid

<sup>61</sup> CPR 14E. ”The Yellow Book”. 3:e upplagan: kap 6

<sup>62</sup> <http://www.smhi.se> (hämtat 2006-10-02)

<sup>63</sup> Preemraff Lysekil. Miljöavdelningen. Personlig kommunikation

<sup>64</sup> Ibid

### 4.1.3 Ämnen

I tabell 4:1 beskrivs de ämnen som förekommer inom 53-området. För att se hur ämnena är fördelade över cisternfältet hänvisas till bilaga A.

Tabell 4:1 Ämnesspecifik information

Ämne	Energivärde $h_c$ (MJ/kg)	Ångbildningsvärme $h_v$ (kJ/kg)	Specifik värmekapacitet $c_v$ (J/kg · K)	Kokpunkt $T_b$ (K)
Isomerisat <sup>65</sup>	45,1	359,6 (0 °C, 1 bar)	1575 - 1773 (0-100 °C)	295-420
Reformat <sup>66</sup>	41,5 - 45,1	425,7 (0 °C, 1 bar)	1397 - 1705 (50-150 °C)	382-445
Heptan <sup>67</sup>	44,6	320	2610	372

För att strålningsberäkningarna ska bli konservativa och inte visa för låg strålningsintensitet används det högsta värdet i intervallen för specifik värmekapacitet och det lägsta värdet för kokpunkt i tabell 4:1.

I Bilaga B och C finns utförliga beräkningar som bygger på antaganden ovan där avståndet till strålningskällan först varit konstant och sedan varierats för att slutligen visa vid vilket avstånd strålningen är 6-8 kW/m<sup>2</sup>.

### 4.1.4 Resultat från strålningsberäkningar utan vindpåverkan

I tabell 4:2 redovisas resultaten från beräkningar av strålningsintensiteten i Bilaga B då ingen hänsyn tas till vindens påverkan.

Tabell 4:2 Sammanställning av strålningsintensitet på olika avstånd från brandkällan hämtat från Bilaga B

Avstånd (m)	Strålningsintensitet		
	Isomerisat (kW/m <sup>2</sup> )	Reformat (kW/m <sup>2</sup> )	Heptan (kW/m <sup>2</sup> )
8	20	11,5	11,5
20	12	7	7
30	5	6	5
40	4	4	4

### 4.1.5 Resultat från strålningsberäkningar med vindpåverkan

I tabell 4:3 redovisas resultaten från beräkningar av strålningsintensiteten i bilaga C. Hänsyn tas till vindens påverkan då vinden blåser från branden mot den avsedda punkten.

Tabell 4:3 Sammanställning av strålningsintensitet på olika avstånd från brandkällan hämtat från Bilaga C

Avstånd (m)	Strålningsintensitet
	Heptan (kW/m <sup>2</sup> )
50	10
60	9
70	6

<sup>65</sup> Preemraff Lysekil. Processtekniska avdelningen. Personlig kommunikation

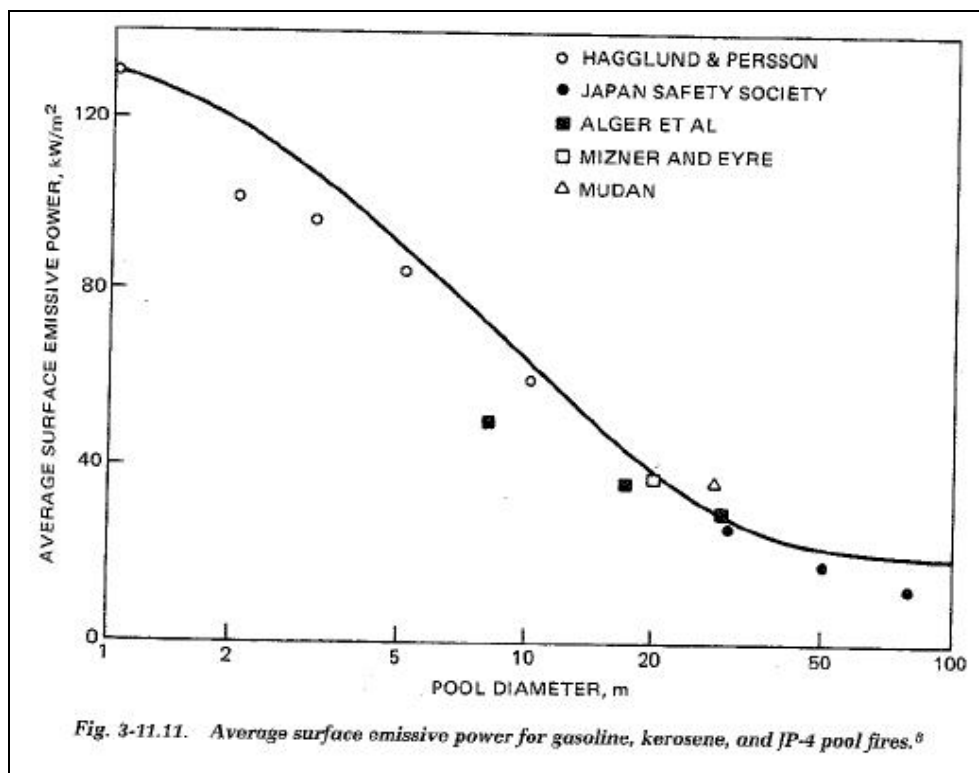
<sup>66</sup> Ibid

<sup>67</sup> Fischer, Forsén mfl. "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor". Försvarets Forskningsanstalt. 1998 (även benämnd FOA-handboken)

## 4.2 Resonemang kring brandscenario och strålningsberäkningar

Som nämndes i kapitel 4.1.2 bygger en del av strålningsberäkningarna på genomsnittlig väderstatistik från SMHI samt uppgifter från Preemraffs miljöavdelning. För de aktuella parametrarna, relativ fuktighet, årsmedelvindstyrka och årsmedeltemperatur, förekommer variationer. Beräkningar med extremvärden från de olika faktorerna har inte utförts, då eventuella resultat inte anses lämpliga att dimensionera brandskyddet på 53- området utifrån. I bilaga B och C presenteras utförda beräkningar som leder fram till utgående strålning från pölbränder av isomerisat, reformat och heptan.

Beräkningar utan vindpåverkan<sup>68</sup> gav resultat av utgående värmestrålning, se bilaga B, som med en faktor 8 överskattade strålningen som figur 4:2 visar. Figuren visar experimentresultat av utgående strålning efter storskaliga pölbrandsförsök med olika sotande bränslen. Då ingående ämnen från dessa försök är kemiskt jämförbara med de ämnen som lagras på 53- området, och då resultaten enligt figur 4:2 dessutom bygger på storskaligt utförda försök, anses de ge projektets strålnings-beräkningar en bättre verklighetsförankring och ökad trovärdighet. Därför används dessa värden för att gå vidare med beräkningarna av värmestrålningen på olika avstånd från källan.



Figur 4:2 Sotande pölbränders utgående värmestrålning<sup>69</sup>

Betydelsen av omgivningens temperatur för beräkningsresultatet av utgående strålning kommer därmed delvis att minska då värden i stället förs in i beräkningsgången direkt från figur 4:2.

Dock används värden för årsmedeltemperatur vid bestämning av förbränningshastigheten som i sin tur ligger till grund för flamhöjden för respektive ämne. Följden blir att alla tre ämnen trots allt inte lik-ställs efter avläsning i figur 4:2, utan ges en skiljefaktor i just flamhöjden, som grundas på ämnes-specifika data och ovan nämnd väderstatistik. Målet med beräkningarna, det vill säga strålnings-intensiteter på olika avstånd från källan, bygger med andra ord på både experimentellt grundade och teoretiskt beräknade resultat.

<sup>68</sup> "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor"

<sup>69</sup> The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering. "FIRE HAZARD FOR LARGE OPEN HYDROCARBON FIRES". NFPA, second edition. USA, MA, Boston, Quincy: 1995

Resultaten från beräkningarna visar att vinden har en klart betydande inverkan då resultaten från tabell 4:2 jämförs med de ur tabell 4:3. Utifrån resultaten kan slutsatsen dras att befintliga brandposter, som är belägna ungefär 8 meter från invallningen, nås av strålningsnivåer som uppgår till ungefär  $20 \text{ kW/m}^2$ , om vätskan som antagits ha läckt ut och antänds är isomerisat. Av resultatet att döma ger isomerisat en betydligt större strålningsintensitet vid förbränning än vad scenarier med reformat och heptan ger på samma avstånd.

Nivån  $20 \text{ kW/m}^2$  kan innebära en mycket svår situation för brandstyrkan med arbetet att öppna brandposter och koppla upp slangsystem mot dessa. Vad just denna strålningsnivå kan få för konsekvenser på slangar, både tomma, fyllda och med flöde redovisas i kapitel 5.3.

För avstånd mellan 20 och 40 meter sjunker strålningsnivåerna betydligt både för beräkningar med och utan vindpåverkan. För de släckfordon som används vid mobil släckning på Preemraff Lysekil innebär exempelvis 40 meter inte något kritiskt avstånd vad gäller kastlängd. Tester har utförts med tak-kanonen på bil 4, se kapitel 8, som bekräftar detta.

## 5 Värmestrålningens inverkan på omgivningen

Värmestrålning är ett centralt begrepp i detta projekt, enligt fråga 2 i kapitel 1.5:

**”I vilken omfattning kan faktorerna värmestrålning, vind- och kanonkapacitet påverka skumpåföringen vid en släckinsats av en invallningsbrand och hur avgörande är dessa för resultatet?”**

Nedan följer en beskrivning av hur värmestrålning kan påverka människor, cisterner och släckutrustning i händelse av brand. För inverkan på släckutrustning, i detta projekt helt fokuserat på brandslangar, genomförs en grundlig utredning under rubriken 5.3.

### 5.1 Exponering

Både för insatspersonal och oskyddade personer innebär värmestrålning problem. I tabell 5:1 nedan redovisas vad olika strålningsnivåer innebär för människor och materiel. Från kapitel 4.2 kan slutsatsen dras att strålningsnivåer på uppemot 20 kW/m<sup>2</sup> inte är orimligt vid brandposterna om en invallningsbrand skulle uppkomma. En insatsklädd brandmans förmåga att jobba vid denna strålningsnivå är i allra högsta grad tveksam enligt tabell 5:1.

För att anknyta till själva insatsarbetet för en brandstyrka vid en brand där lokalisering av anslutningar för släcksystem är det primära, har räddningstjänsten i Göteborg satt 8 kW/m<sup>2</sup> som övre gräns. Information om någon exakt tid under vilken en klädd brandman maximalt kan vistas vid denna strålning framgår inte ur källan<sup>70</sup>. De förutsättningar som angetts är att kylning kan ske med dimstrålrör under arbetet samt att exponeringstiden för brandmannen är begränsad.

För oskyddade människor är möjligheten att vistas i närheten av en storbrand på 53-området givetvis otänkbar.

Tabell 5:1 Observerade effekter vid olika strålningsnivåer

Strålning (kW/m <sup>2</sup> )	Observerad Effekt	Källa
1	Maximal nivå för oskyddad hud	FireDynamics <sup>71</sup>
6,4	Smärta efter 8 s hudexponering	FireDynamics
7	Insatspersonal klädd i RB90 klarar 3-7 min exponering	”Brandskydd i oljedepå”
12,5	Pyrolys av trämaterial, antändning med pilotlåga	FireDynamics
15	Efter 30 min antar en exponerad cisternmantel en temperatur över 300°C för cisternplåten ovanför vätskeytan	”Brandskydd i oljedepå”
20	Insatspersonal klädd i RB90 klarar 2 min exponering	SP RAPPORT 1996:06
29	Trä antänds spontant utan pilotlåga	FireDynamics
52	Träfiberplatta antänds spontant inom 5 s	FireDynamics

<sup>70</sup> Persson, Henry; Persson, Bror. ”Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager – BRANDFORSK projekt 612-923”. Borås: Sveriges provnings- & Forskningsinstitut. SP RAPPORT 1996:06

<sup>71</sup> Karlsson, Björn; Quintiere, James. ”Enclosure Fire Dynamics” CRC Press. 2000

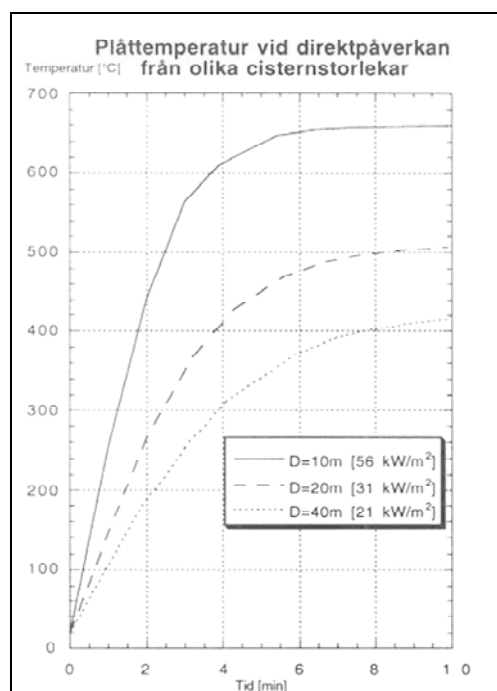
## 5.2 Brandspridning mellan cisterner

Här besvaras fråga 1 i kapitel 1.5:

**”1. Om någon av cisternerna i den gemensamma invallningen börjar läcka och en antändning sker inom invallningen, hur lång tid tar det innan resterande cisterner inkluderas i branden?”**

För att besvara denna fråga har studier av Henry och Bror Perssons rapport ”Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager”<sup>72</sup> genomförts. Förutsättningen för antändning är enligt rapporten att cisternplåten har en temperatur som överstiger innehållsets termiska tändpunkt. Vidare skall innehållsets koncentration vid aktuell cistern vara inom dess brännbarhetsområde. Att avgöra var och när optimal koncentration uppnås i cisternens närhet anses inte ligga inom rimlighetens gräns för detta arbete. Denna rapport har därmed begränsats till att studera uppvärmning av cisternplåt vid olika exponeringstider samt vid olika nivåer av infallande strålning. Vid en eventuell invallningsbrand på grund av ett stort läckage på 53-området är risken stor att värmeöverföringen från den brinnande invallningen till cisternerna sker med direkt flampåverkan. Anledningen är att ett stort läckage skulle omsluta alla cisterner då invallningen är gemensam, och därmed möjliggöra ett sådant scenario under förutsättning att hela ytan brinner.

Av ovan nämnda rapporters slutsatser att döma innebär direkt flampåverkan en betydligt snabbare uppvärmning av cisternplåten än endast infallande strålning från exempelvis en annan brinnande cistern. Risken för antändning anses störst för den del av cisternmanteln som gränsar mot innehållsets gasfas. För denna del saknas en effektiv kylning från insidan av cisternplåten, vilket är fallet under innehållsets yta.



Figur 5:1 Diagram<sup>73</sup> som visar plåttemperatur hos cisterner vid direkt flampåverkan. Enligt figuren har experiment utförts på cisterner av tre olika diametrar.

Enligt genomförda försök är skillnaden i uppvärmningstid mellan direkt flampåverkan och uppvärmning på grund av infallande strålning från ett närbeläget, brinnande objekt stor. Utgående från figur 5:1<sup>74</sup> framgår att tidsaspekten till dess cisternplåtstemperaturen uppnår ca 500°C vid direkt flampåverkan av en cistern med en diameter av 20 meter uppgår till omkring 6 minuter. En annan tolkning är att det tar

<sup>72</sup> ”Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager – BRANDFORSK projekt 612-923”

<sup>73</sup> Ibid

<sup>74</sup> Ibid



ungefär 6 minuter för plåten i en cistern att värmas upp till ca 500 °C om den står i en brinnande invallning. För samma cisterns påverkan av infallande strålning från en annan källa som inte innebär direkt flampåverkan är tidsaspekten uppemot en halvtimme, och då krävs en strålning på 30 kW/m<sup>2</sup> när cisternens mantel.

Det är med andra ord av vikt att undvika direkt flampåverkan, som sannolikt blir fallet vid en invallningsbrand, i syfte att förbättra tidsaspekten för en eventuell släckinsats i ett brinnande cisternlager.

## 5.3 Strålningsexperiment mot brandslangmodeller

Göran Holmstedt<sup>75</sup> hävdar att då ett flöde upprätthålls i ett slangsystem som utsätts för värmestrålning utifrån, sker en mycket effektiv kylning av slangmaterialet inifrån. Enligt en svensk slangtillverkare<sup>76</sup> som tillfrågats har dock inga strålningsförsök utförts på fyllda brandslangar, utan endast glödtester på olika slangmaterial. Henry Persson<sup>77</sup> på SP i Borås känner heller inte till att några experiment utförts mot fyllda brandslangar.

### 5.3.1 Bakgrund

Vid brandsläckningsinsatser kan brandslangar utsättas för mer eller mindre hög värmestrålning. Eftersom brandposterna på 53-området är placerade ca 8 meter från invallningen, se kapitel 3.6, uppgår värmestrålningen på det avståndet till 11,5-20 kW/m<sup>2</sup> enligt kapitel 4.1.4. Klarar då en brandslang denna strålningsnivå utan att förstöras? Vart går gränsen och hur hög värmestrålning tål en brandslang? För att få svar på dessa frågor sökte författarna i den tillgängliga litteraturen och hittade till slut en rapport<sup>78</sup>, som beskriver ett experiment där en tom brandslang förkolnar vid strålningen 20 kW/m<sup>2</sup>. Det var den enda rapport författarna hittade som berörde värmestrålning mot brandslangar, och tyvärr fanns inga experiment utförda mot fyllda brandslangar.

### 5.3.2 Syfte

Med vetskapen om att inga experiment tidigare har utförts, undantaget ett experiment med en tom slang, bestämde sig författarna för att själva genomföra tester. Försöken syftar till att via experiment undersöka om brandpostnätet på 53-området går att använda vid en invallningsbrand. Frågeställningen lyder:

**- Hur hög värmestrålning tål en brandslang, under olika förutsättningar, innan den förstörs?**

Förutsättningarna sattes till tom slang, fylld slang och slang med flöde i.

### 5.3.3 Utrustning och material

För att kunna genomföra experimenten krävdes givetvis tillgång till slang. Efter samtal med slangtillverkaren SVEBAB kring idén blev responsen positiv och de gick med på att sponsra med slangprov av två olika modeller av dimensionen 76 mm, även kallad grovslang. Modellerna som testades heter Guardman och Setex. Då merparten av experimenten genomfördes med fylld slang och slang med flöde krävdes dessutom slangkopplingar samt hjälp med att trycka på dem på slangproven. Stefan Svensson på SRV Revinge försåg oss med kopplingar och Räddningstjänst Syd bistod med hjälp att trycka på kopplingarna.

---

<sup>75</sup> Holmstedt, Göran. Professor inom Brandteknik – LTH. Personlig kommunikation

<sup>76</sup> Artursson, Leif. VD. SVEBAB. Personlig kommunikation

<sup>77</sup> Persson, Henry. Brandforskare på SP i Borås. Personlig kommunikation

<sup>78</sup> Persson, Bror; Persson, Henry. "Basutrustning för skumsläckning-försöksresultat och rekommendationer som underlag för dimensionering och utförande". Borås: Sveriges provnings- & Forskningsinstitut. SP-Rapport 1990:36



Figur 5:1 Radiator



Figur 5:2 Strålningsmätare

Från Brandteknik på LTH användes utrustning för generering av strålning i form av en gasdriven radiator, se figur 5:1. För att dessutom kunna mäta nivån på den värmestrålning som brännaren alstrade hjälpte forskningsingenjör Sven-Ingvar Granemark från Brandteknik i Lund till med att kalibrera en strålningsmätare, se figur 5:2, inför försöket. Detta instrument möjliggjorde en noggrann mätning av strålningen som brännaren genererade. Brandteknik på LTH försåg oss även med digitalkamera samt en digital filmkamera.



Figur 5:3 Flödes- och tryckmätare

Förutom slangkopplingar bistod Stefan Svensson även med flödesmätare och tryckmätare, se figur 5:3, för att kunna upprätthålla ett konstant flöde och tryck i slangen. Termoelement användes för att mäta temperaturökningen på slangytan samt på vattnet inne i slangen.

### 5.3.4 Utförande

Med hjälp av utrustningen beskriven i föregående kapitel och praktisk hjälp av Stefan Svensson, SRV Revinge, utfördes testerna. Experiment utfördes mot två slangmodeller vid tre olika strålningsnivåer. Förutsättningarna, som nämnts tidigare, var tom slang, fylld slang och slang med flöde. För fullständig beskrivning av utförandet hänvisas till bilaga E.

### 5.3.5 Resultat för tom brandslang



Figur 5:4 Resultat av värmestrålning mot tom brandslang ( $30 \text{ kW/m}^2$ )

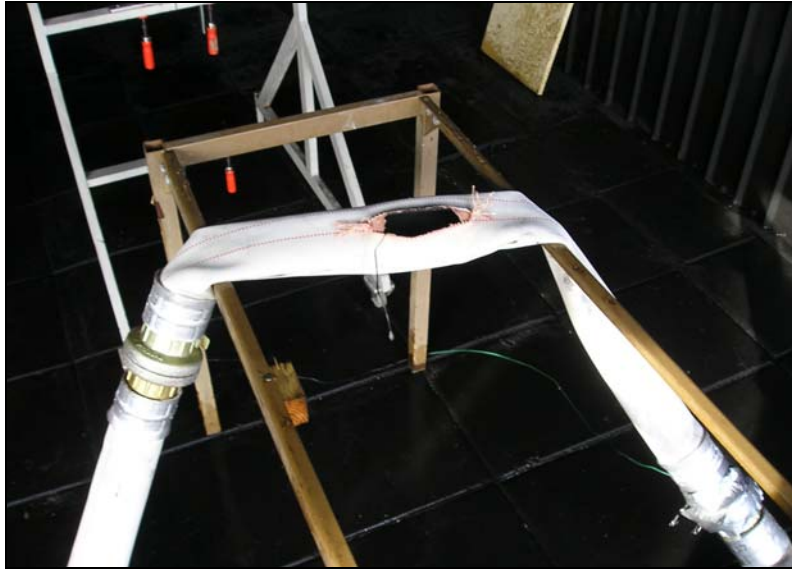
Ur tabell 5:2 framgår i vilken utsträckning två olika slangmodeller står emot strålning då de ej fyllts med vatten. Figur 5:4 visar det synliga resultatet.

Tabell 5:2 Experimentresultat vid test av tom slang

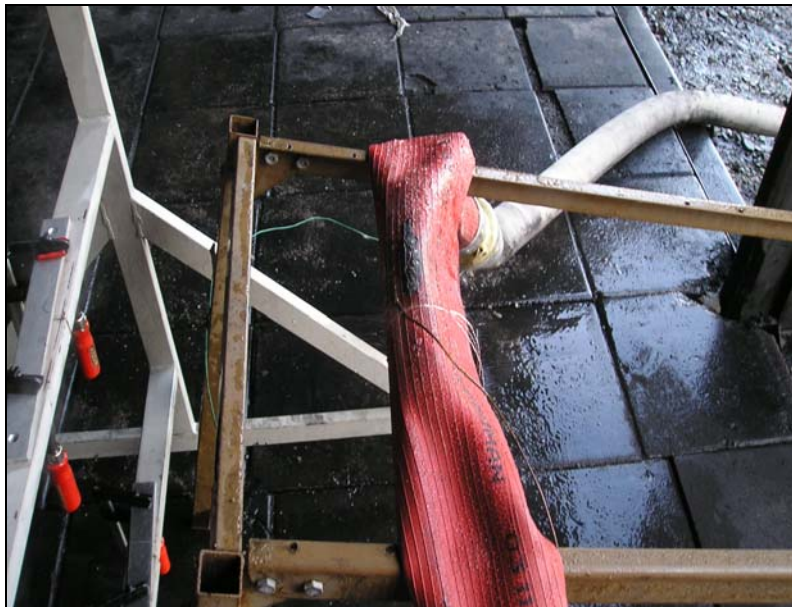
Strålning ( $\text{kW/m}^2$ )	Tom gummislang	Tom vävslang
10	Ingen synlig påverkan efter 10 min	Ingen synlig påverkan efter 10 min
20	Svag pyrolys efter 4 min, synlig påverkan med mörk yta efter 10 min.	Svag synlig påverkan efter 10 min
30	Slang förstörd efter 2 min	Slang förstörd efter 2 min

### 5.3.6 Resultat för fylld brandslang

För en vattenfylld brandslang innebar exponeringen att uppvärmningen av slangmaterialet fördröjdes jämfört med de tomma slangproven. Här gavs som ovan nämnts möjlighet att studera temperaturstegringen inne i slangens samt på dess yta med hjälp av termoelement. En tydlig skillnad framgick mellan gummislang och vävslang i det skede då de olika materialen gav efter. Som framgår av figur 5:5 och 5:6 är skillnaden i hålstorlek stor vid bristning trots att strålning och vattentryck för de olika slangarna är samma. Vävslangen var klart mer oberäknelig och våldsam vid bristning medan den röda gummislangen gav vissa varningssignaler före bristningen. Det uppstod snabbt en svag pyrolys på ytan och när slangens brast skedde det med ett pysande ljud, inte med en kraftig smäll som då vävslangen brast.



Figur 5:5 Vävslang som brustit vid strålningspåverkan



Figur 5:6 Gummislang visar tecken på svag förkolning efter värmestrålningens inverkan

I tabell 5:3 presenteras tiderna för vilka slangmaterialet förstördes vid olika strålningsintensiteter.

Tabell 5:3 Resultat från experiment med fylld slang

Strålning (kW/m <sup>2</sup> )	Fylld gummislang, tryck 9 bar	Vävslang, tryck 9 bar
10	Ingen synlig påverkan	Ingen synlig påverkan
20	Slang förstörd efter 11 min, 30 s	Slang förstörd efter 10 min*
30	Slang förstörd efter 2 min, 10 s	Slang förstörd efter 1 min, 30 s

\* Efter försöket med vävslang vid 20 kW/m<sup>2</sup> utfördes ytterligare ett försök vid denna strålning. Försöket avbröts efter 30 minuter då slangens fortfarande var intakt, märkligt! För diskussion kring detta hänvisas till kapitel 5.3.8.

### 5.3.7 Resultat för brandslang med flöde



Figur 5:7 Slang där ett flöde upprätthålls

Under detta försök, se figur 5:7, tilläts vatten flöda genom slangens med en hastighet av 110-170 l/min. Då trycket i brandpostnätet på SRV Revinge reglerades stötvis uppstod vissa svårigheter i att hålla ett konstant flöde genom slangprovet, därför anges ett intervall. Efter att ingen påverkan sågs vid försök med fylld brandslang vid 10 kW/m<sup>2</sup> utfördes inget försök med flöde vid denna strålningsintensitet. För 20 kW/m<sup>2</sup> och 30 kW/m<sup>2</sup> kunde en mycket effektiv kylning av slangmaterialet fastslås. I samtliga försök bibehölls intakta slangprov. Försöken avbröts efter 20 minuter vid 30 kW/m<sup>2</sup> då temperaturen på slangytan ansågs stabil, se tabell 5:4.

Tabell 5:4 Experimentresultat vid slang med flöde

Strålning (kW/m <sup>2</sup> )	Gummislang	Vävslang
10	Inget försök utfördes	Inget försök utfördes
20	Inget försök utfördes	Inget försök utfördes
30	Stabil temperatur, slang intakt - 20 min	Stabil temperatur, slang intakt - 20 min

### 5.3.8 Resonemang kring strålningsexperiment mot brandslangmodeller

Som framgår av resultaten kyls ett flöde i slangens dess material mycket effektivt. Trots att flödet som upprätthölls endast uppgick till mellan 110 och 170 l/min förmådde det skydda slangens, oavsett modell, från bristning under hela 20 minuter även vid den högsta strålningsintensiteten (30 kW/m<sup>2</sup>). Vid denna strålningsnivå dröjde det endast ca 2 minuter för en fylld slang att brista, se kapitel 5.3.6.

För projektet är strålningsnivån 20 kW/m<sup>2</sup> intressant då denna uppnås vid brandposterna kring 53-området om isomerisat skulle läcka ut i invallningen och antändas. Resultaten från experimentet understryker vikten av att få igång ett flöde så snabbt som möjligt efter att slangar kopplats till brandposterna vid en insats, annars kommer slangarna att förstöras efter ca 10 min om inget flöde förekommer.

En kraftig avvikelse vid experimentet skedde vid strålning mot fylld vävslang. Provet som testades var fortfarande intakt efter 30 minuter vid strålningen 20 kW/m<sup>2</sup>. Märkligt, då ett annat slangprov av vävslang under samma förutsättningar brast efter ungefär 10 minuter. Kring experimentet finns en rad felkällor och variabler som varit svåra att kontrollera, se bilaga E för mer information.

## **5.4 Övrig släckutrustning**

Med övrig släckutrustning menas släckfordon, bärbara kanoner, skumsläp etc. För dessa har inga strålningsexperiment utförts då de anses befinna sig längre ifrån branden under en insats alternativt inte vara lika känsliga. Det är dock viktigt att poängtera att släckfordonen är mycket värdefulla, så i den bemärkelsen är det av stor vikt att skydda dessa, även under en insats.

## 6 Uppskattad åtgång av resurser för släckning

Detta kapitel diskuterar huruvida nödvändiga släckresurser i form av skumvätska, mobil pumpkapacitet och brandvattentillgång finns att tillgå vid en eventuell brand i 53- områdets invallning.

### 6.1 Analys av rekommenderade påföringshastigheter

Syftet i detta kapitel är att undersöka och besvara fråga 3 i kapitel 1.5:

**”Finns det skillnader i rekommenderad påföringshastighet mellan olika företag/organisationer och är det någon påföringshastighet som tillämpas mer frekvent än andra vid invallningsbränder?”**

För att i förväg kunna dimensionera en släckinsats mot en cistern- eller invallningsbrand måste en viss påföringshastighet bestämmas som med stor sannolikhet resulterar i en lyckad släckning. Olika företag och organisationer har utfört experiment och kommit fram till något olika resultat för en lyckad släckning, se tabell 6:1. Detta är den påföringshastighet av släckmedel som skall nå den brinnande vätskeytan efter att eventuella förluster på grund av vind, spill och flammor räknats bort.

Tabell 6:1 Påföringshastigheter vid invallningsbränder

Företag/Organisation	Påföringshastighet (l/m <sup>2</sup> min)
Räddningsverket <sup>79</sup>	4
NFPA 11 <sup>80</sup>	4,1
BP <sup>81</sup>	4,1
Boots & Coots <sup>82</sup>	4,1
Esso <sup>83</sup>	6,5
Shell <sup>84</sup>	4,1
SMC <sup>85</sup>	10,4

Påföringshastigheten av premix vid en invallningsbrand verkar enligt tabell 6:1 vara något olika beroende på vilket företag man vänder sig till. Den vanligaste påföringshastigheten är dock 4,1 l/m<sup>2</sup>min och har sitt ursprung i experiment utförda av amerikanska NFPA.

Tabell 6:2 Flöde beroende av påföringshastighet och invallningsyta

Företag/Organisation	Påföringshastighet (l/m <sup>2</sup> min)	Invallningsyta (m <sup>2</sup> )	Flöde (l/min)
Räddningsverket	4	9 650	38 600
NFPA 11, BP, Boots & Coots, Shell	4,1	9 650	39 600
Esso	6,5	9 650	62 700
SMC	10,4	9 650	100 400

Bortsett från Esso och SMC kan den amerikanska försäkringskoden NFPA 11 ses som normgivande vid invallningsbränder då den tillämpas av merparten av de företag och organisationer som presenteras i tabell 6:2. SMC skiljer inte på cisternbränder och invallningsbränder i sin dimensionering och skulle dessutom

<sup>79</sup> ”Brandkydd i oljedepå – rekommendation”

<sup>80</sup> NFPA 11

<sup>81</sup> Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder

<sup>82</sup> Ibid

<sup>83</sup> Ibid

<sup>84</sup> Ibid

<sup>85</sup> Jacobsson, Olov. Personlig kommunikation



ta sitt släckvatten från havet vid en eventuell insats<sup>86</sup> på Preemraff Lysekil. Detta resulterar sammantaget i att en rimlig bedömning bör vara att följa påföringshastigheten som anges i NFPA 11.

Detta resulterar i att vid en invallningsbrand på 53-området bör premix påföras enligt tabell 6:2 med hastigheten 4,1 l/m<sup>2</sup>min vilket resulterar i ett flöde på knappt 40 000 l/min. Eftersom produkterna inte innehåller mer än 10 % alkohol räcker det med 3 % inblandning<sup>87</sup> skumvätska i släckvattnet.

## 6.2 Analys av rekommenderade påföringstider

NFPA 11 anger olika påföringstider för hur länge själva påföringshastigheten bör upprätthållas beroende av vilket bränsle som brinner. I fallet invallningsbrand med klass 1 vätska bör påföring ske under minst 30 minuter. Detta är dock avsett för fasta installationer och inte för mobil skumpåföring. Persson<sup>88</sup> och Räddningsverket<sup>89</sup> är överens om att mobil skumpåföring ska ske under minst 60 minuter, därför används denna rekommendation för att analysera Preemraffs skumförråd.

## 6.3 Behov av skumvätska

Med en påföringshastighet på 4,1 L/m<sup>2</sup>min vilket ger ett flöde på 40 000 L/min, enligt kapitel 6.1, och en påföringstid på 60 minuter, enligt kapitel 6.2, beräknas åtgången av skumvätska. Hänsyn tas också till 3 % inblandning av koncentrerad skumvätska.

$$V_{\text{koncentrerad skumvätska}} = 40\,000 \cdot 60 \cdot 0,03 = 72\,000 \text{ L} = 72 \text{ m}^3$$

Beräkningen ovan visar att det krävs 72 m<sup>3</sup> koncentrerad skumvätska för att släcka en invallnings-brand på 53-området. Enligt objektsbeskrivningen finns det 35-40 m<sup>3</sup> skumvätska lastad på bil och släp redo att användas. Ytterligare kan sammanlagt 40-60 m<sup>3</sup> hämtas från raffinaderiets båda hamnar, vilket ger en total, tillgänglig mängd skumvätska för mobil släckning som uppgår till minst 75 m<sup>3</sup>. Planer för transport och logistik av hamnarnas skumvätska saknas dock. För en lyckad släckinsats krävs en fungerande logistik. Det räcker inte med att skumvätskemängden finns på området, den måste även kunna transporteras fram till en eventuell brand.

Vad beträffar skumvätskemängd har inte rekommendationen från Boots & Coots tillämpats av författarna, det vill säga mängden 75 m<sup>3</sup> inkluderar inte någon felmarginal på 30 %.

## 6.4 Analys av tillgänglig påföringskapacitet

Preemraff Lysekils interna brandstyrka har en sammanlagd pumpkapacitet på ca 25 000 l/min enligt tabell 3:5. För att kunna släcka en invallningsbrand i dagens läge krävs enligt kapitel 6.1 ett flöde på ca 40 000 L/min. Detta innebär att befintliga påföringsresurser är otillräckliga.

---

<sup>86</sup> Ibid

<sup>87</sup> Jacobsson, Olov. Personlig kommunikation

<sup>88</sup> Persson, Henry. ”Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder”. Borås: Statens provnings- & Forskningsinstitut. SP-rapport 1992:02

<sup>89</sup> ”Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs”

## **6.5 PFS-simuleringar av flöde och tryck i brandpostnät**

Med programmet PFS utförs en kontroll av brandpostnätet på Preemraff Lysekil, mer specifikt den del som förser 53-området med brandvatten.

### **6.5.1 Syfte**

Brandpostnätet runt 53-området utvärderas för att kunna besvara fråga 4 i kap 1.5 där den mobila släckstyrkans kapacitet ifrågasätts:

**”Är företagens mobila utrustning och släckmedelstillgång tillräcklig för att bekämpa en fullt utvecklad invallningsbrand på 53-området?”**

Som en följd av att den mobila släckstyrkan är beroende av släckvatten för att kunna utföra en släckinsats så måste släckvattenkapaciteten undersökas. Syftet är att utreda om brandpostnätet eller den totala mobila pumpkapaciteten verkar begränsande under en insats.

Det totala flödet ur ett varierat antal brandposter på området söks, då utgående tryck och antal pumpar i drift varierar.

### **6.5.2 Beskrivning av PFS**

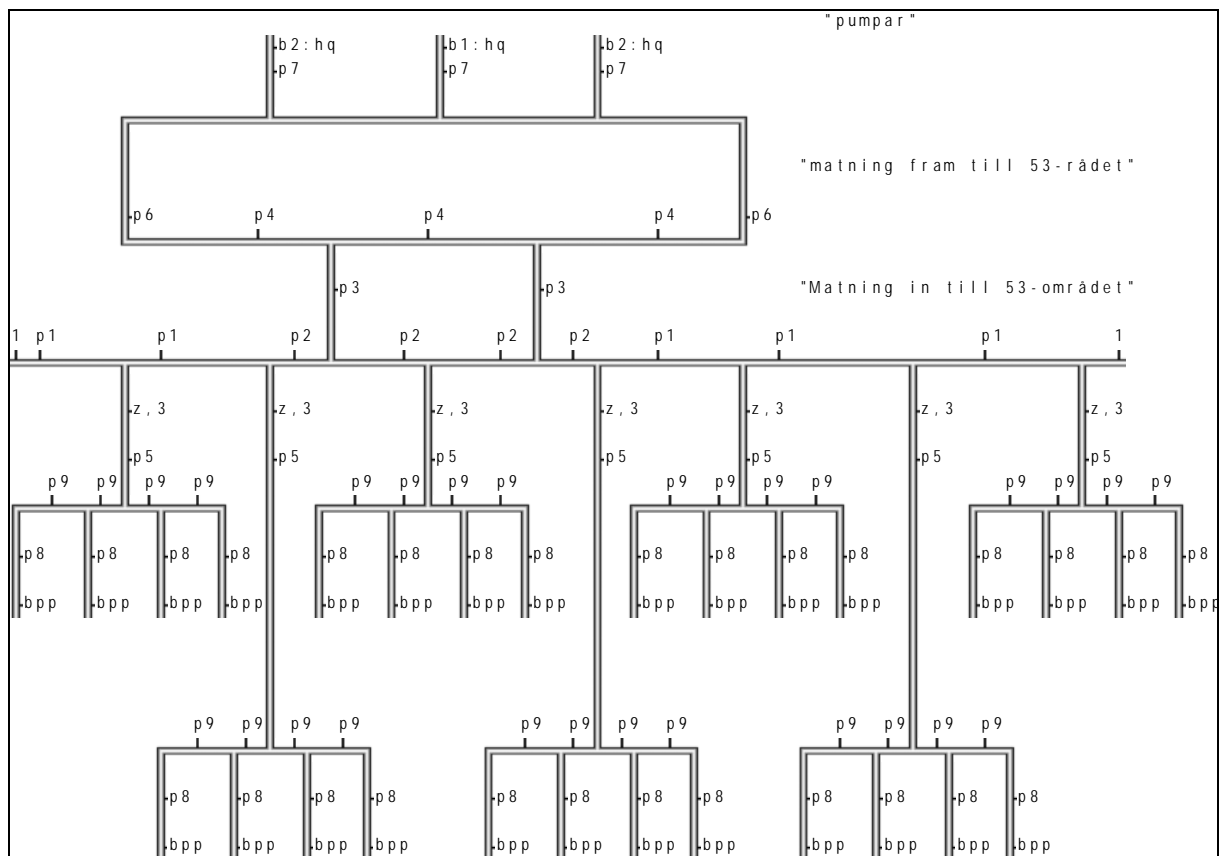
För att kunna utvärdera brandpostnätets kapacitet används ett speciellt flödesprogram vid namn PFS<sup>90</sup> som tar hänsyn till brandpostnätets utformning med pumpar och rörsystem etc. PFS (Program Flow- System) är ett datorprogram för installationstekniska flödessystem. Programmet är framtaget av Lars Jensen, LTH, och lämpar sig för analyser av till exempel varmvatten-, spillvatten-, dagvatten-, värme-, luftbehandlings- och sprinklersystem. Programmet visar vid tillämpning strömnings-riktningar och genererar även värden på flöden, tryck och temperatur. Således bedöms programmet vara användbart i bedömningen av flödet i ett brandpostnät.

### **6.5.3 Utförande**

Brandpostnätet byggdes upp i PFS med hjälp av ritningar, pumpkurvor och muntliga referenser, se figur 6:1 på nästa sida. Tre pumpar används, en elektrisk och två dieseldrivna som sitter parallellt mot systemet, se bilaga F för pumpkurva och indata. Matningen fram till 53-området består av 12-tums rör som förser området från två håll. Runt 53-området löper en 8-tums slinga som matar de 7 brand-posterna med vatten. På varje brandpost har fyra grovslangar (76 mm) kopplats.

---

<sup>90</sup> <http://www.hvac.lth.se/PFS/PFS.HTML> (hämtat 2006-10-23)



Figur 6:1 Beskrivning av brandpostnät

## 6.5.4 Resultat

När utgående tryck ur samtliga grovslangar sätts till 1, 2 och 3 bar svarar PFS med error. Detta beror antagligen på att ett negativt tryck uppstår i vissa av grovslangarna, ett så kallat baksug, när alla brandposter öppnas samtidigt. När ett utgående tryck på minst 4 bar används försvinner problemet, och således valdes högre värden på utgående tryck såsom 4, 5 och 7 bar. Pumparna alternerades mellan alla tre pumpar i drift respektive 2 pumpar i drift. Vid två pumpar i drift användes en elektrisk och en dieseldriven eftersom elpumpen är i konstant drift medan de två dieselpumparna kan startas vid behov.

Efter att de första simuleringarna genomförts visade det sig att flödet ur de olika brandposterna varierade något beroende på placering utmed brandpostslingan. Resultaten visar att brandposten placerad mellan de två 12-tumsledningarna, som i sin tur förser 8-tumsledningen runt 53-området med vatten, ger högst flöde. De två brandposterna längst bort från de två anslutande 12-tumsledningarna ger lägst flöde. På grund av detta uppstår ett flödesintervall när brandposter öppnas beroende på placeringen runt 8-tumsslingan. Detta åskådliggörs i tabell 6:3-6:8 och figur 6:2-6:7.

### 6.5.4.1 Resultat vid användning av tre pumpar

Tabell 6:3 4 bars tryck i grovslang

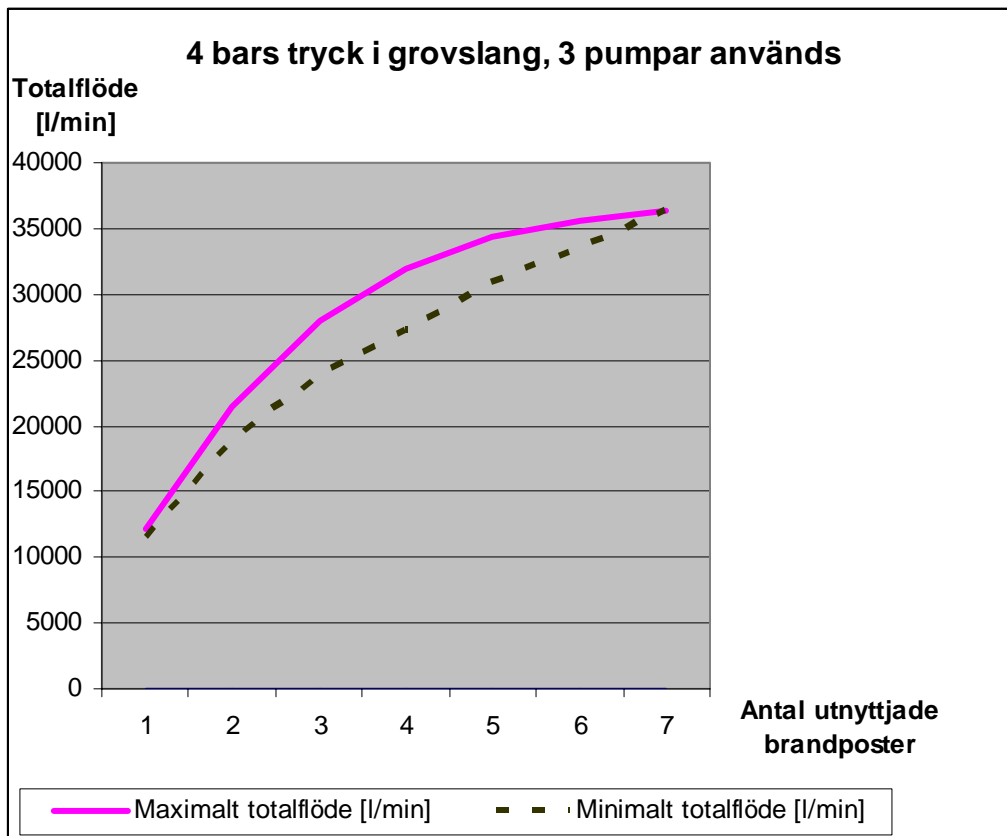
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	11,0	11 600-12 200
2	10,6-10,7	19 000-21 500
3	10,4-10,5	23 900-28 000
4	10,3-10,4	27 300-31 900
5	10,2-10,3	30 800-34 300
6	10,1-10,2	33 500-35 600
7	10,1	36 400

Tabell 6:4 5 bars tryck i grovslang

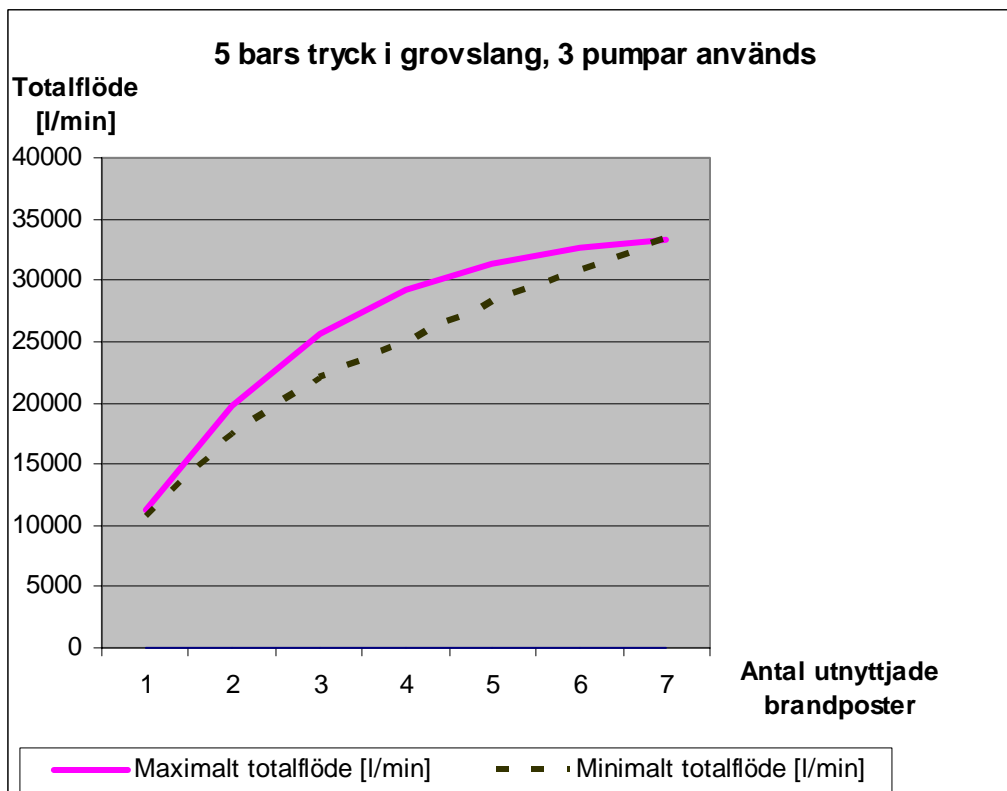
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	11,0	10 700-11 200
2	10,7-10,8	17 500-19 700
3	10,5-10,6	22 000-25 600
4	10,4-10,5	25 000-29 200
5	10,3-10,4	28 200-31 400
6	10,2-10,3	30 700-32 600
7	10,2	33 300

Tabell 6:5 7 bars tryck i grovslang

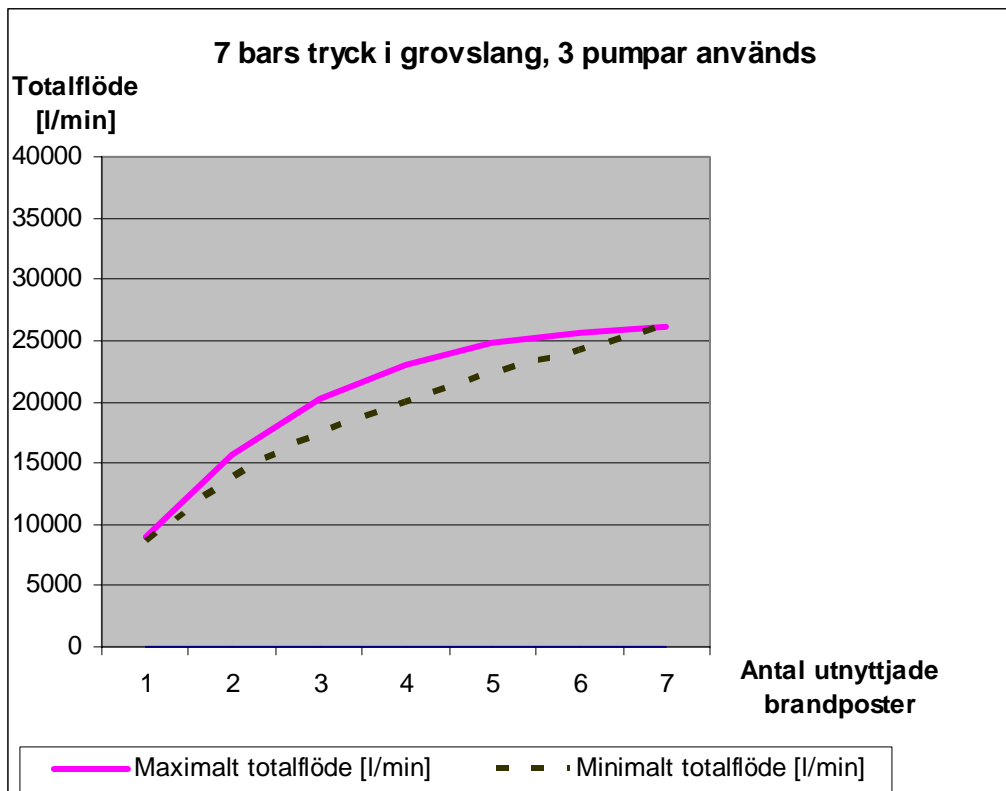
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	11,1	8 600-9 000
2	10,8-10,9	13 900-15 700
3	10,7-10,8	17 500-20 300
4	10,6-10,7	19 900-23 100
5	10,5-10,6	22 400-24 800
6	10,5	24 200-25 700
7	10,5	26 200



Figur 6:2 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 4 bars utgående tryck



Figur 6:3 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 5 bars utgående tryck



Figur 6:4 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 7 bars utgående tryck

### 6.5.4.2 Resultat vid användning av två pumpar, en elektrisk och en dieseldriven

Tabell 6:6 4 bars tryck i grovslang

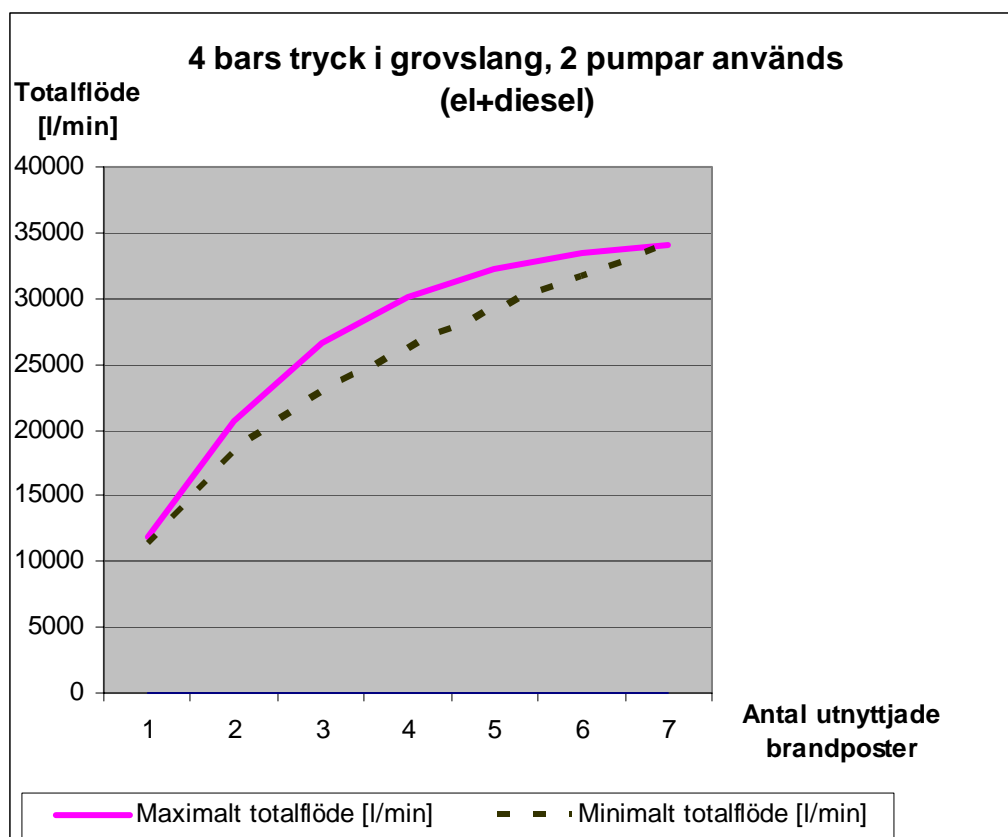
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	10,7-10,8	11 400-11 900
2	10,2-10,4	18 400-20 700
3	9,9-10,1	23 000-26 600
4	9,7-9,9	26 100-30 100
5	9,6-9,8	29 200 32 300
6	9,5-9,6	31 600-33 400
7	10,1	34 100

Tabell 6:7 5 bars tryck i grovslang

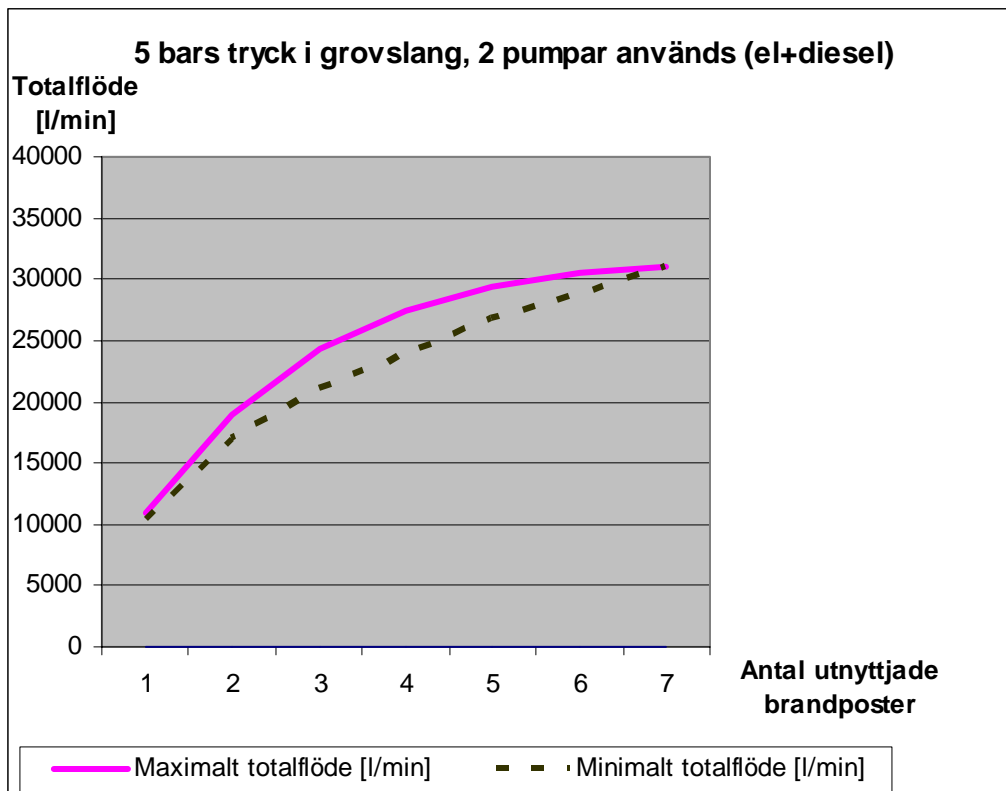
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	10,8	10 500-11 000
2	10,3-10,5	16 900-19 000
3	10,0-10,2	21 000-24 400
4	9,9-10,1	23 800-27 500
5	9,7-9,9	26 700-29 400
6	9,7-9,8	28 800-30 500
7	9,7	31 100

Tabell 6:8 7 bars tryck i grovslang

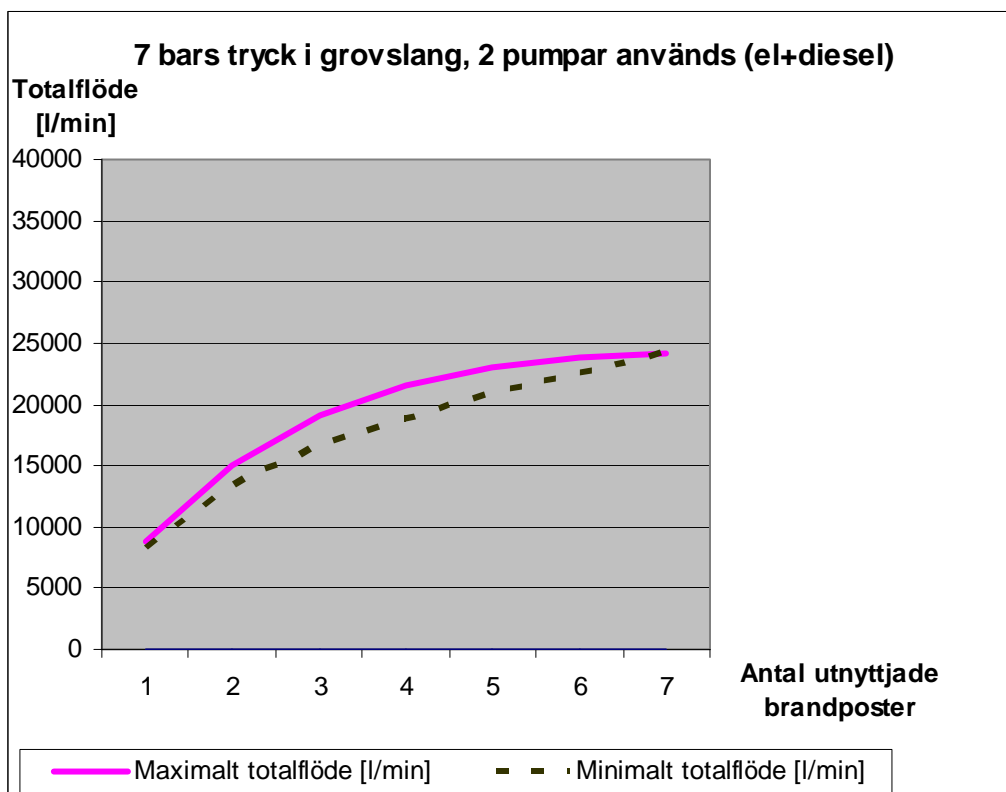
Antal brandposter	Pumptryck [bar]	Totalt flöde [l/min]
1	10,9	8 400-8 800
2	10,6-10,7	13 400-15 000
3	10,3-10,5	16 600-19 100
4	10,2-10,4	18 700-21 500
5	10,1-10,2	20 900-23 000
6	10,1	22 500-23 800
7	10,0	24 200



Figur 6:5 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 4 bars utgående tryck



Figur 6:6 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 5 bars utgående tryck



Figur 6:7 Totalflöde vid varierat antal utnyttjade brandposter, 7 bars utgående tryck



### 6.5.4.3 Diskussion kring flödessimulering

Resultaten visar att det totala flödet ur brandposterna minskar i takt med ett ökat utgående tryck. Variationerna mellan maximalt och minimalt totalflöde syns också tydligt i figurerna som området mellan streckad och heldragen linje och beror på vilka brandposter som nyttjas. Det maximala totalflödet när alla brandposter är öppna varierar mellan 26 200 l/min och 36 400 l/min, beroende på utgående tryck och placering, se figur 6:2-6:4. Resultatet från simulering av två pumpar i drift leder till att flödet varierar mellan 24 200 l/min och 34 100 l/min. Återigen beroende på utgående tryck och placering, se figur 6:5-6:7.

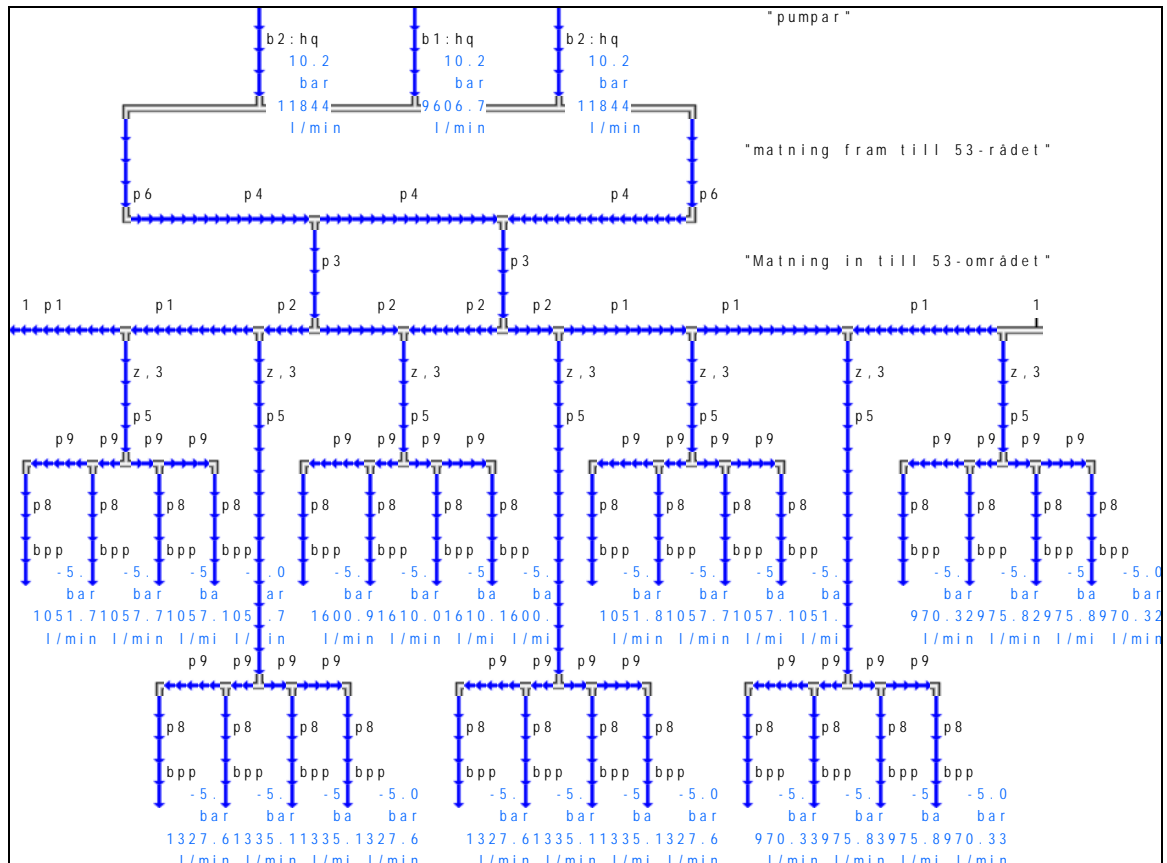
### 6.5.5 Felkällor

På grund av vissa felkällor i simuleringarna, borde resultaten ses som aningen teoretiska. Följande felkällor kan förekomma:

- Förluster i rörkrökar.
- Rörlängder har antagits och bör inte betraktas som exakta.
- Eventuell höjdskillnad mellan pumparna och 53-området.
- Störningar i samkörningen av pumpar.
- Höjdskillnad mellan brandpost och 8-tums slinga har antagits och bör inte ses som exakt.

## 6.5.6 Generella slutsatser

När figur 6:2-6:7 studeras visar det sig att flödet sjunker i takt med ökat utgående tryck från grovslangarna. När utgående tryck varierar från 4 bar till 7 bar då alla brandposter är öppna, se figur 6:8 för systemet i drift, minskar totalflödet med ca 10 000 l/min då alla pumpar används. När istället två pumpar används med samma förutsättningar minskar totalflödet också med ca 10 000 l/min. Detta innebär att skillnaden mellan två eller tre pumpar i drift blir marginell. Kanske är det då 8-tumsslingans diameter som verkar begränsande på totalflödet från brandposterna. Men en slutsats som säkert kan dras från flödessimuleringarna är att flödet på ca 40 000 l/min som krävs för en släckinsats mot 53-områdets invalling, se kapitel 6.1, inte kan erhållas från brandpostnätet, oavsett tryck och antal pumpar i drift.



Figur 6:8 Systemet i drift

## 7 Flödesberäkningar för nöddumpning

Vid en invallningsbrand kan den brinnande vätskan avlägsnas genom nöddumpning, se kapitel 3.4.1. Kapaciteten är idag ”mer än 30 m<sup>3</sup>/min” enligt Sandgren<sup>91</sup> och denna siffra undersöks här närmare. Syftet anknyter till fråga 1 i kapitel 1.5:

**”Om någon av cisternerna i den gemensamma invallningen börjar läcka och en antändning sker inom invallningen, hur lång tid tar det innan resterande cisterner inkluderas i branden?”**

Enligt kapitel 5.2 handlar det bara om minuter innan de resterande cisternerna antänds vid en invallningsbrand. För att förhindra detta kan en tänkbar åtgärd vara att dumpa innehållet från invallningen. Ett annat syfte kan vara att undersöka om det finns kapacitet nog att dumpa den påförda mängden släckmedel under en insats, så att invallningen inte svämmar över.

Vid en situation då nöddumpning är aktuellt för 53-områdets invallning krävs att en viss vätskenivå uppnås i invallningen. Om nivån i invallningen når över rörmyningen med ca 0,7 meter och ventilen till nöddumpningssystemet står öppen kan dumpning påbörjas. På grund av att röret enligt figur 3:2 böjer av nedåt precis innan mynningen i invallningen krävs att vätskenivån stiger tillräckligt mycket för att på så sätt fylla den bit av röret som faller mot invallningen. När väl den biten av röret är fylld, det vill säga då vätskan även börjar strömma ner mot oxidationsdammen och därmed fyller resten av röret, kan hävertverkan fortgå så länge mynningen i invallningen befinner sig under ytan.

### 7.1 Utförande

För att simulera ett rimligt, verklighetstroget flöde i dumpningsröret, har programmet PFS använts. För en teknisk beskrivning av programmet hänvisas till kapitel 6.5.2.

---

<sup>91</sup> Sandgren, Rickard. Systembeskrivning. Preemraff Lysekil

## 7.2 Indata

Vatten antas som flödesmedium, se figur 7:1 för vidare information. Författarna har uppskattat längden på dumpningsröret till ca 50 meter och höjdskillnaden till ca 15 meter, men detta är grova uppskattningar och därför utförs en känslighetsanalys. Dumpningsröret varieras då i längd med 50, 75 och 100 meter. Höjdskillnaden varieras också till 10, 15 och 20 meter. Diametern på röret är satt till 12 tum enligt kapitel 3.4.1, vilket motsvarar ca 305 mm, se figur 7:1.

```
begin
flow l/min
pressure bar
format 4
control den=1000 duct=10 C=120

set p1=d,305,50

      |
      | e , 0 . 1
      |
p 1 - |
      |
      | z , - 1 5
      |
      | e , 1 : v q
      |

end
```

Figur 7:1 Indata för PFS

## 7.3 Resultat

Resultaten från PFS ges i tabell 7:1-3 där rörets längd och höjdskillnad varieras.

Tabell 7:1 Resultat för 100 meter långt dumpningsrör

Höjdskillnad [m]	10	15	20
Flödeshastighet [m/s]	5,3	6,6	7,7
Flöde [l/min]	23 300	28 950	33 750

Tabell 7:2 Resultat för 75 meter långt dumpningsrör

Höjdskillnad [m]	10	15	20
Flödeshastighet [m/s]	6,0	7,5	8,7
Flöde [l/min]	26 450	32 800	38 200

Tabell 7:3 Resultat för 50 meter långt dumpningsrör

Höjdskillnad [m]	10	15	20
Flödeshastighet [m/s]	7,1	8,8	10,2
Flöde [l/min]	31 100	38 500	44 900

Simuleringsresultatet när rörets längd är satt till 50 meter och höjdskillnaden till 15 meter åskådliggörs i figur 7:2.

```

begin
flow l/min
pressure bar
format 4
control den=1000 duct=10 C=120

set p1=d, 305, 50

p 1.
|e, 0.1
|z, -15
|e, 1: v q
38549
l/min
8.8
m/s

end 1 1 system 4 elements 0 errors 0 observations

```

Figur 7:2 Resultat från PFS

### 7.3 Resonemang

Dumpningsflödet från tabell 7:3 och figur 7:2, där höjdskillnaden satts till 15 meter anses av författarna motsvara förhållandena på 53-området. Resultatet på 38 500 l/min är då jämförbart med flödet ”mer än 30 000 l/min” som finns angivet i kapitel 3.4.1. Preemraff Lysekils uppskattade flöde bedöms då vara i samma storleksordning som det simulerade. Vid en släckinsats går det alltså enligt resultatet från PFS att dumpa vätska från invallningen med flödet 38 500 l/min.

## 8 Kastlängdförsök och vindpåverkan

Vid skumsläckning kan vinden vara en faktor av stor betydelse. För släckningsinsatser rekommenderas ofta att skumpåföring sker med vinden i ryggen. Tyvärr kan fallet ibland vara att vinden blåser från ett olämpligt håll. Angreppsvägarnas riktning förändras inte men det gör ju som bekant ofta vindens!

Vid storskalig släckning är det inte säkert att påföringen blir lika lätt att anpassa efter rådande vindriktning. Varje tankfält är unikt och ju färre väderstreck branden kan angripas ifrån, ju svårare blir det att välja en angreppsväg som ger goda förutsättningar för en lyckad insats. Strålningsintensiteten från branden begränsar också hur nära ett släckfordon eller en kanon kan placeras.

### 8.1 Syfte

För att få en bättre uppfattning kring möjligheten att påföra skum vid omfattande bränder i petroleumprodukter, är kastlängdsförsök med mobil utrustning intressant. Vind och avstånd inverkar på mängden släckmedel som når branden. Utifrån egna försök utförda i medvind och motvind, samt vid olika vindstyrkor, kan slutsatser dras kring hur mycket vinden påverkar en insats.

För det här arbetet är syftet med kastlängdsförsöken ett undersöka vilken räckvidd skumkanonen på ett av Preemraff Lysekils släckfordon har. Hänsyn tas till vinden då 53-området ligger nära havet varifrån det ofta blåser. Efter studier av närområdet framgår det att de två befintliga angreppsvägarna löper i riktningar som innebär hög sannolikhet för motvind. Information kring den lokala räddningstjänstens kapacitet vad beträffar kastlängd anser författarna är viktig då en samlad bild av förutsättningarna vid en eventuell invallningsbrand skall skapas.

### 8.2 Utförande

Försöken utfördes med takkanonen på bil 4, räddningstjänsten Preemraff Lysekil, samt mätinstrument för vindstyrka och avstånd. Flödet hölls konstant vid varje försök. På bil 4 är skuminblandningen inställd på 3 % och skummet som erhålls vid påföring med takkanonen har ett skumtal som motsvarar tungskum. Med tungskum menas en skumvätska som tillsammans med vatten och inblandning av luft ökar upp till 20 gånger i volym. Vid försöken användes vatten i stället för skum då skumvätskan är dyr. En jämförelse mellan skum och vatten vid kastlängdsförsök utfördes dock och visade på marginella skillnader. Slutsatsen drogs därmed att vatten kan jämföras med skum vid kastlängdsförsöken. En begränsning har införts då det gäller kanonelevationen. I stället för att fixera kanonen i en viss vinkel varierades vinkeln på kanonen inför varje försök för att fastställa vilken vinkel som resulterar i längst kastlängd vid ett bestämt flöde, vindstyrka och vindriktning. Försök utfördes i olika vindstyrkor och resultat i medvind och motvind jämfördes och analyserades. Kastlängder från två olika försökstillfällen presenteras i tabell 8:1.

## 8.3 Resultat

Tabell 8:1 Försöksprotokoll

Datum	Flöde (l/min)	Vindstyrka (m/s)	Tryck (bar)	Kastlängd (m)	Stråle vid nedslag
060629	4200	2-3 (motvind)	19	60	Något splittrad
060629	7000	2-3 (motvind)	14	70	Splittrad
060629	4200	2-3 (medvind)	19	77	Splittrad
060629	7000	2-3 (medvind)	14	83	Mycket Splittrad
060803	4200	6-8 (motvind)	19	55	Splittrad
060803	7000	6-8 (motvind)	14	65	Mycket Splittrad
060803	4200	6-8 (medvind)	19	75	Splittrad och varierande
060803	7000	6-8 (medvind)	14	85	Mycket splittrad och varierande

## 8.5 Resonemang

Som framgår av tabell 8:1 påverkar både vindstyrka och vindriktning kastlängden. Tilläggas bör att metoden att mäta kastlängd är osäker. Bedömningen som gjorts är att det avstånd dit uppskattningsvis hälften av vattnet når motsvarar kastlängden vid en viss vindstyrka i en viss vindriktning. Tyvärr erbjöd sommaren 2006 ganska få dagar med riktigt blåsigt väder. För försöket vore det intressant att ha resultat även vid vindstyrkor på över 10 m/s, men tyvärr dök det aldrig upp något tillfälle.

Vid riktigt stora insatser, exempelvis invallningsbränder, är det enligt räddningstjänsten på Preemraff Lysekil endast fullt flöde som är aktuellt. Mycket stora ytor kräver mycket stora påföringshastigheter. En slutsats som kan dras utifrån detta försök är att vid avstånd upp till 60 meter bör en säker påföring vara möjlig med bil 4, även om det sker mot vinden och vindstyrkan uppgår till 8 m/s.

Vid provkörningar och kapacitetstester av befintlig släckutrustning, fast men kanske framför allt mobil, förekommer från egen erfarenhet i princip alltid mer eller mindre allvarliga brister. Det kan handla om fel i skumdoseringsmekanismen, fjärrstyrningen av takkanonen på bil 4, motorproblem, som har direkt inverkan på pumpfunktionen, slangbrott under pågående insats, stopp i ledningar till fasta installationer på tankar och invallningar, med mera. Boots & Coots<sup>92</sup> räknar med att ungefär 30 % av utrustningen inte fungerar vid insats och tar hänsyn till detta genom att överdimensionera med denna felprocent. Ett tänkvärd sätt att planera enligt författarna.

<sup>92</sup> ”Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder”

## 9 Åtgärdsförslag för 53-området

Detta kapitel återkopplar direkt till den sista av frågeställningarna i kapitel 1.5

**”Vilka rimliga åtgärder skulle kunna förbättra möjligheten att bekämpa en invallningsbrand på 53 – området på Preemraff Lysekil?”**

Det nuvarande brandskyddet och planeringen för en eventuell invallningsbrand på 53-området är enligt utvärderingen otillräckligt och därför ges några alternativa förslag till förbättring av områdets brandsäkerhet avseende invallningsbrand. Författarna anser att det finns flera rimliga åtgärder som avsevärt kan förbättra förutsättningarna för en lyckad släckinsats mot en invallningsbrand.

### 9.1 Sektionering av invallning

Litteratur från NFPA<sup>93</sup>, SRV<sup>94</sup> och SIND<sup>95</sup> ger förslag på att stora invallningsytor kan sektioneras med så kallade sekundärvallar för att minska bränsleytan. År 2000 utförde Sprängämnesinspektionen en förändring i sina föreskrifter rörande lagring av brandfarliga vätskor. I den nya författningen som tillkom det året, SÄIFS 2000:2, beskrivs hur nybyggnationer av cisternlager, och även utbyggnader av befintliga objekt, skall uppföras på ett sådant sätt att den kommunala eller lokala räddningstjänstens resurser blir tillräckliga för att bekämpa en eventuell brand. Det gick med andra ord från att generellt enbart grundats på rekommendationer till att idag vara ett lagkrav. Observera att det inte specifikt är sektioneringen som utgör ett krav i de förnyade föreskrifterna, utan endast möjligheten räddningstjänsten har att bekämpa en brand i ett nytt objekt.

En indelning i sekundärvallar resulterar i flera mindre ytor. Fördelen med en sådan åtgärd blir att de ytmässigt minskade invallningarna, i vilka ett eventuellt läckage samlas och antänds, blir lättare att hantera med befintliga släckresurser. Vid släckning av en mindre yta krävs inte lika högt påförings-flöde av släckmedel och därmed lägre kanonkapacitet. Det är dock viktigt att sekundär-vallarna är något lägre än den yttre vallen för att undvika problem med dimensioneringen. Om sekundärvallarna byggs lika höga som den yttre vallen, måste de inre ytorna var och en för sig uppfylla kraven från SIND. Om däremot sekundärvallarna byggs något lägre än den yttre vallen, betraktas det tekniskt sett fortfarande som en gemensam invallning, inte som flera oberoende invallningar. Åtgärden innebär att för ett extremfall, då hela invallningsvolymen kan behövas, har läckaget möjlighet att efter ett tag rinna över sekundärvallarna, för att därpå fylla upp hela invallningen. Beräkningar måste dessutom utföras för volymen betong som sekundärvallarna förväntas uppta i invallningen. Den får inte bli för stor i förhållande till invallningens totala volym. Om detta skulle bli fallet måste den yttre vallen höjas ytterligare till dess dimensioneringen återigen motsvarar kravet i SIND.

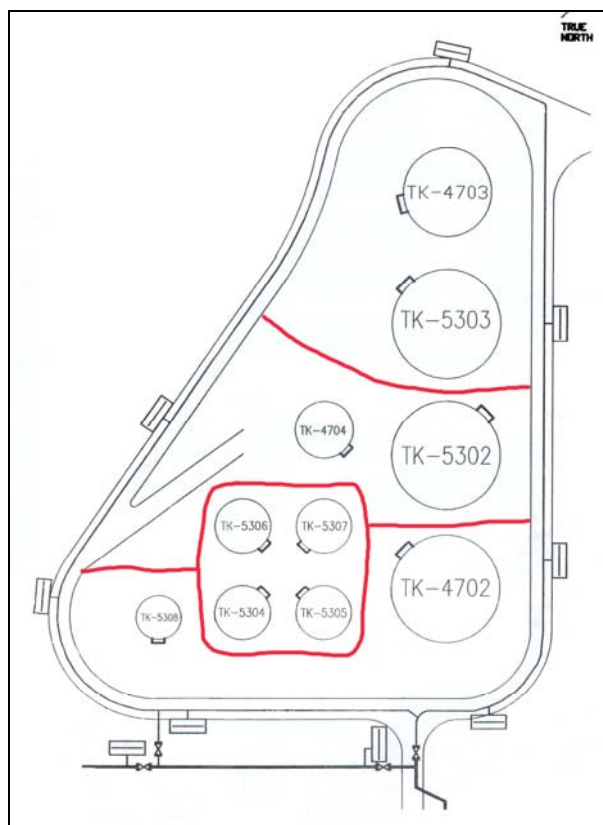
Författarnas förslag är att sektionera invallningen i mindre ytor, se figur 9:1. Detta skulle, då ytan delas upp i fyra mindre ytor, minska påföringsflödet till i storleksordningen 10 000 l/min, vilket kan anses som ett rimligt flöde att uppnå med befintlig, mobil pumpkapacitet. Boots & Coots tumregel från kap 8, som säger att 30 % av utrustningen ej förväntas vara funktions-duglig under en insats, tas också i beaktande. Med en total pumpkapacitet på ca 25 000 l/min, se kap 3.7.5, används då 10 000 l/min till påföring mot en invallningsbrand på 53-området. Tillämpning av ovan nämnd tumregel från Boots & Coots, med 30 % felmarginal, innebär för detta fall att 7 500 l/min dras bort från det totala flödet (25 000 l/min). Resterande pump-kapacitet, som då uppgår till 8 500 l/min, kan användas för kylning av intilliggande cisterner. Sektioneringen medför också att erforderlig mängd skumvätska finns mobilt redo att användas, enligt kapitel 3.7.3. Trots detta bör ändå logistiken på området med avseende på transport av skumvätska ses över. Då det finns så stora mängder i hamnarna vore det synd om det inte går att utnyttja.

<sup>93</sup> NFPA 11:11-21: 5.7.3.3.2

<sup>94</sup> ”Brandskydd i oljedepå – rekommendation”

<sup>95</sup> SIND-FS 1981:2





Figur 9:1 Förslag till sektionering av invallningen

Bärbara kylkanoner är lämpliga att använda för kylning av cisternkonstruktioner och därmed fördröja en eventuell brandspridning, se kap 5.2. Dessa behöver inte förses med vatten via bilarnas pumpar och därmed uppta värdefull pumpkapacitet vid brand på 53-området. Då trycket i brandpostnätet kan höjas med brandvattendieslar i råvattenhuset, se kap 6.2, är det bra om uppkoppling av eventuella kylkanoner sker direkt på 8-tumslingan runt invallningen.

Ett system för detektion av brandfarlig gas bör också installeras i varje sektion av invallningen så att ett eventuellt läckage snabbt kan upptäckas och åtgärdas.

## 9.2 Dränerings- och nöddumpningssystem

En annan viktig åtgärd i samband med en eventuell indelning av invallningen i mindre ytor med hjälp av sekundärvallar, är att dränerings- och dumpningssystem bör installeras till varje del av invallningen. I de allmänna råden från författningen SÄIFS 2000:2 står att rörförbindelser bör installeras mellan sektionerna då en stor invallning sektionerats. Dessa placeras förslagsvis högt i sekundärvallen i syfte att förhindra mindre läckage från att sprida sig till övriga sektioner, men ändå möjliggöra överrinning vid omfattande olyckor. Vad beträffar möjligheter till nöddumpning av en sektion, det vill säga en snabb, fullständig tömning oavsett läckagets omfattning, anser författarna att detta system bör utformas så att det verkligen kan ske sektionsvis, det vill säga helt oberoende av övriga sektioner. Nöddumpningssystem är inget lagkrav, och finns inte heller med i ovan nämnda allmänna råd, utan får betraktas som en tillämpning av befintliga, tekniska lösningarna på 53-området.

Som nämnts i kapitel 7 kvarstår ett problem då invallningen inte helt kan tömmas på vätska, på grund av att nöddumpningsrörets mynning inte når invallningens lägsta punkt. En möjlig åtgärd är att förlänga nöddumpningsröret, vilket skulle möjliggöra en mer fullständig tömning av invallningen. Dessutom vore det i samband med en sådan åtgärd önskvärt att gräva ner ledningen ytterligare under vägen i syfte att sänka rörledningens högsta punkt, vilket skulle innebära att hävert-verkan startar på en lägre nivå.

### **9.3 Installation av semi-fast släcksystem i invallning**

Med stöd från utförda experiment med värmestrålning mot slangsystem från kapitel 5.3, samt kastlängdsförsök i med- och motvind, kapitel 8, kan det konstateras att det finns risker med mobil skumpåföring mot en invallningsbrand. För att undvika att brandslangar förstörs av hög värme-strålning och att släckmedel sprids med vinden alternativt bristande kastlängd i motvind, kan ett semi-fast släcksystem installeras. Denna installation innebär att rör dras in till varje invallningsyta där fasta skumrör placeras. Med fasta skumrör kan spill av släckmedel och vindpåverkan undvikas då påföring sker direkt mot vätskeytan. Lämpligen placeras påföringskopplingar till systemet vid södra angrepps-vägen utanför bunkern, där släckmedel kan föras in i rörsystemet med hjälp av den mobila brand-styrkan. Utanför bunkern bör en eller flera nya brandposter installeras från 12-tumledningen, vilket möjliggör ett högt flöde som brandstyrkan kan utnyttja vid semi-fast skumpåföring.

### **9.4 Utvärdering av ett medlemskap i SMC**

SMC har enligt sin verkställande direktör<sup>96</sup> en budget på 3 miljoner kronor per år och finansieras av tio delägare inom petroleumindustrin, se kapitel 2.7.1. Organisationen är öppen för nya medlemmar som då får ansöka om medlemskap och vid ett positivt besked betalar en fast ingångskostnad för att bli andelsägare till SMC:s storskaliga släckutrustning. Enligt verkställande direktör på SMC finns inga motsättningar inom branschen eller andra hinder som inte välkomnar Preemraff Lysekil att ansöka om medlemskap.

Om budgeten helt enligt författarnas godtycke fördelas lika på de 10 delägarna, resulterar detta i en årskostnad på 300 000 kr per delägare. Om denna spekulation stämmer skulle det alltså kosta Preemraff Lysekil ca 300 000 kronor per år att vara medlem i SMC.

Författarna menar inte i och med förslaget på medlemskap i SMC att Preemraff Lysekil kan börja avveckla sin interna brandstyrka. Ett medlemskap skulle bara syfta till att skapa en extra resurs vid insatser och planering för insatser. Preemraff Lysekil är som bekant en processteknisk industri, se kap 3.1.1. Vid eventuella läckage och bränder i raffinaderiets processdel krävs snabba insatser i form av släckning och kylning med mobil alternativt fast/semifast släckutrustning. Om en invallningsbrand bryter ut på 53-området handlar det bara om minuter, enligt kap 5.4, innan hela området är förlorat. SMC Göteborg, som ligger närmast, har en inställetid på ca 2 timmar, se kap 4.7.6. En sådan tids-aspekt innebär troligtvis att hela 53-området och antagligen stora delar av raffinaderiet är förlorat när de anländer. Inom två timmar har antagligen halvskivorna, som anses extra känsliga, exploderat och spridit branden till processen och andra delar av raffinaderiet. SMC kan då endast vara behjälpliga med att rädda resterna av raffinaderiet och författarna ställer sig därför skeptiska till ett medlemskap för Preemraff Lysekil.

Om kostnaden för ett eventuellt medlemskap istället läggs på att förbättra raffinaderiets skydd mot invallningsbränder med sekundärvallar och semi-fasta släcksystem, kan förmodligen ett bättre och effektivare brandskydd erhållas.

### **9.5 Diskussion och slutsatser**

Med denna kombination av åtgärder som beskrivits i föregående kapitel 9.1 till 9.4 kan en invallningsbrand snabbt detekteras, ytan som brinner blir inte lika stor och branden i invallningen kan antingen släckas på plats eller avlägsnas genom ett effektivt nöddumpningssystem. Brandstyrkans kapacitet är fullt tillräcklig och påföring via ett semi-fast släcksystem förhindrar effektivt spill, vindpåverkan och problem med hög värmestrålning. Idag skulle en invallningsbrand antagligen innebära en katastrof för raffinaderiet då stora värden kan gå förlorade. Men med dessa relativt enkla och billiga åtgärder kan brandskyddet förbättras avsevärt med resultatet att det skulle uppfylla SÄIFS 2000:2, det vill säga att en invallningsbrand blir hanterbar med den släckutrustning som finns att tillgå.

---

<sup>96</sup> Swan, Ulf. Vd för SMC. Personlig kommunikation

## 10 Generella slutsatser/Diskussion

Stora delar av rapporten är objektspecifik och berör endast Preemraff Lysekil angående utvärderingar och simuleringar av system på raffinaderiet. Men efter hand som arbetet framskridit har författarna försökt lösa vissa problem som kanske andra berörda och intresserade parter också kan dra nytta av. Därför presenteras detta kapitel, där sammanfattad, generell information framställs för varje berört område. Slutsatsen är enligt författarna att det som framgår ur SÄIFS 2000:2 är mycket viktigt att dimensionera brandskyddet på ett sådant sätt att en eventuellt uppkommen brand i ett cisternlager skall kunna bekämpas med befintliga resurser.

### 10.1 Strålningsexperiment mot grovslang

Författarnas utvärdering av värmestrålning mot grovslang bedöms vara aktuell för hela brand-branschen. Den kritiska strålningen  $20 \text{ kW/m}^2$  berör antagligen alla parter som på något sätt arbetar med slangsystem. Vi rekommenderar därför branschen att dimensionera nya konstruktioner och insatsplaner under denna kritiska strålningsnivå på  $20 \text{ kW/m}^2$ . För att med exakthet kunna avgöra vilken strålningsnivå, under  $20 \text{ kW/m}^2$  och vissa andra förhållanden, som är ett bra gränsvärde krävs fler och mer utförliga experiment där fler värden varierar. Dessa eventuella framtida försök bör utföras i laboratoriemiljö där konstanta strålningsnivåer, tryck, temperaturer och flöden kan upprätthållas. Fram till dess detta ej undersökts närmare bör nivån  $20 \text{ kW/m}^2$  inte överskridas.

### 10.2 Modeller för beräkning av flamhöjd

När beräkningar av värmestrålning mot omgivningen skulle utföras stötte författarna inledningsvis på problem med definitionen av flamhöjd. Kunskaperna inom brandteknik uppfattades som bristfälliga angående vilka modeller för flamhöjd som är giltiga gällande stora pölbränder. Finns det några begränsningar med gällande modeller för beräkning av flamhöjd, är de giltiga för hur stora bränder som helst, var går gränsen? Efter samråd med i rapporten nämnda brandforskare användes medelvärdet av Thomas och Heskestads modell för beräkning av flamhöjd. Detta antagande bör undersökas närmre och noggranna studier av större pölbränder saknas inom den publicerade litteraturen.

### 10.3 Förändring av bestämmelser kring invallningsytor

Sprängämnesinspektionen, placerad under SRV, har år 2000 förändrat sina föreskrifter gällande invallningsytor. Efter författarnas utvärdering visar det sig att Sprängämnesinspektionen kräver att nya invallningsytor skall vara möjliga att släcka, med tillgängliga resurser. Tidigare bestämmelser, som berörs i bilaga D och som rör invallningsvolym, avstånd mellan cisterner med mera, innehåller inte några krav på att invallningsytor skall vara släckbara.

Att lagstifta retroaktivt är en intressant tanke, men kostnaderna en sådan ändring av lagen skulle innebära i ombyggnationer av cisternområden, motiverar antagligen inte en eventuell lagförändring. Däremot anser författarna att mindre förändringar, som nämns i SÄIFS 2000:2, borde vara lättare att genomföra.

Författarna anser att förändringen i Sprängämnesinspektionens författning SÄIFS 2000:2 är mycket bra, då analytisk dimensionering vid nybyggnationer av cisternområden med tillhörande invallnings-ytor från år 2000 införts som ett krav. Detta bör innebära att invallningsytor fortfarande kan vara enormt stora, men för att få bygglov måste en realistisk insatsplan presenteras, innehållande taktik och tillgängliga resurser för en släckinsats. Lagen berör landets alla nyprojekterade invallningar runt cisterner med brandfarlig vätska. I de allmänna råden till SÄIFS 2000:2 beskrivs även andra åtgärder som följer av en sektionering i flera mindre ytor, såsom rörförbindelser sektionerna emellan, avlägsnande av ogräs/sly i området etc. Författarna anser vidare att semifast släckutrustning bör installeras för speciellt vindutsatta, invallade cisterner eller invallningar som endast kan angripas från ett håll. En sådan åtgärd bör också vara kopplad till den analytiska dimensioneringen.

Sammanfattningsvis måste byggherren enligt den nya lagen, vid en eventuell nybyggnation av cisternområde med tillhörande invallning, presentera en hållbar lösning för en lyckad släckning av en brand.

# Källförteckning

## Litteratur

CPR 14E. "The Yellow Book". 3:e upplagan

The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering. "FIRE HAZARD FOR LARGE OPEN HYDROCARBON FIRES". NFPA, second edition. USA, MA, Boston, Quincy: 1995

Fischer, Forsén mfl. "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor". Försvarets Forskningsanstalt. 1998 (även benämnd FOA-handboken)

Karlsson, Björn; Quintiere, James. "Enclosure Fire Dynamics" CRC Press. 2000

NFPA 11 (National Fire Protection code 11). "Standard for Low-, Medium- and High-expansion Foam". Quincy, MA, USA. 2005

Persson, Henry. "Dimensionering, utrustning och val av taktik är avgörande vid släckning av cistern- och invallningsbränder". Borås: Statens provnings- & Forskningsinstitut. SP-rapport 1992:02

Persson, Bror; Persson, Henry. "Basutrustning för skumsläckning-försöksresultat och rekommendationer som underlag för dimensionering och utförande". Borås: Sveriges provnings- & Forskningsinstitut. SP-Rapport 1990:36

Persson, Bror; Persson, Henry. "Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager – BRANDFORSK projekt 612-923". Borås: Sveriges provnings- & Forskningsinstitut. SP-RAPPORT 1996:06

Persson, Henry; Lönnermark, Anders. "Tank Fires-Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Projekt 513-021". Borås: Statens provnings- & Forskningsinstitut. SP-Report 2004:14

Rosander, Mats. "Skumboken". Räddningsverket. 1990

Räddningsverket Karlstad, Räddningstjänstavdelningen. "Storskalig oljebrandsläckning-Grundkurs". 2001

Räddningsverket Karlstad, Räddningstjänstavdelningen. "Brandskydd i oljedepå – rekommendation". 2000

SFS 2003:778

SIND (Statens Industriverks Författningssamling) -FS 1981:2. "Brandfarliga varor – tillämpningsföreskrifter till förordningen om brandfarliga varor". Stockholm. 1981 (SIND heter numera Sprängämnesinspektionen och är placerad under Räddningsverket)

Särdqvist, Stefan. "Vatten och andra släckmedel". Räddningsverket: Revinge. 2002

Wandrell, Karin; Egardt, Erik. "Branden i Buncefield". Brandsäkert nr 2 2006

SÄIFS 2000:2, "Sprängämnesinspektionens författningssamling", avsnitt 6.2.2

## Ej publicerad litteratur

Sandgren, Rickard. "Systembeskrivning. Preemraff Lysekil"

Sandgren, Rickard. "Cisternbeskrivning. Preemraff Lysekil"

## Muntliga referenser

Abbassi, Reza. Räddningsverket: Karlstad

Artursson, Leif: VD. SVEBAB

Beillon, Tomas. Räddningschef Preemraff Lysekil. Personlig kommunikation

Holmstedt, Göran. Professor inom Brandteknik – LTH. Personlig kommunikation

Jacobsson, Olof. Storgöteborgs Räddningstjänstförbund, SMC-koordinator region väst.

Larsson, Stefan. Räddningstjänsten Preemraff Lysekil

Persson, Henry. Brandforskare på SP i Borås. Personlig kommunikation

Preemraff Lysekil. Miljöavdelningen. Personlig kommunikation

Preemraff Lysekil. Processtekniska avdelningen. Personlig kommunikation

Swan, Ulf. Vd för SMC. Personlig kommunikation

Woxmark, Per. Räddningstjänsten Preemraff Lysekil

### ***Elektroniska referenser***

[http://www.regeringen.se/download/eda315a4.pdf?major=1&minor=47871&cn=attachmentPublDuplicator\\_0\\_attachment](http://www.regeringen.se/download/eda315a4.pdf?major=1&minor=47871&cn=attachmentPublDuplicator_0_attachment) (hämtat 2006-06-06)

<http://www.regeringen.se/sb/d/6791/a/63715> (hämtat 2006-06-06)

[www.spi.se](http://www.spi.se) (hämtat 2006-06-05)

[www.salabrand.se](http://www.salabrand.se) (hämtat 2006-10-03)

<http://www.krc.su.se/raffprojektet/text/Uppdelade%20pdf-filer/sid%20145.pdf#search=%22avsvavling%20bensin%22> (hämtat 2006-09-11)

<http://sv.wikipedia.org/wiki/Krackning> (2006-09-11)

<http://www.hvac.lth.se/PFS/PFS.HTML> (hämtat 2006-10-23)

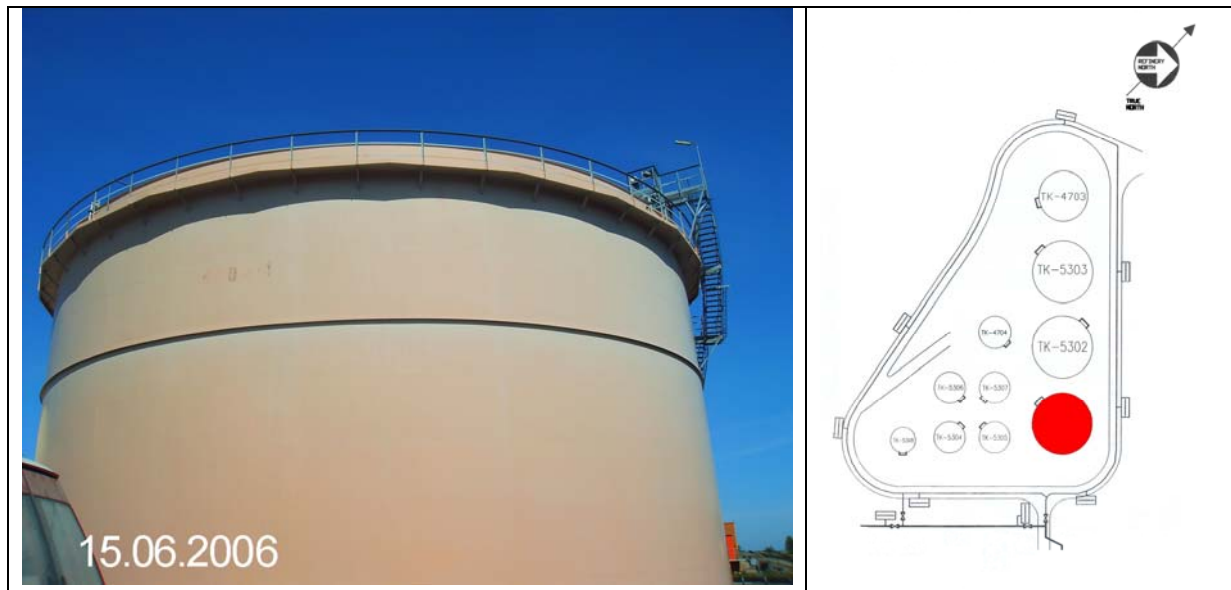
<http://www.helsingborg.se/upload/Nyheter/Kem2006%20folder.pdf> (hämtat 2006-12-05)

<http://www.smhi.se> (hämtat 2006-10-02)

<http://www.spi.se/brandskydd.asp?art=8> (hämtat 2006-07-22)

# BILAGA A - Cisternbeskrivning

## Cistern 4702



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak.

### Fakta

Innehåll	Lätt Reformat (10-15 % bensen, paraffin, aromater)
Brandklass	1
Diameter (m)	31
Höjd (m)	20
Volym (m <sup>3</sup> )	15 000

### Befintligt Brandskydd

Typ av system                      Semi-fast system med övertopp påföring.

Kapacitet                            4 st tungskumpåförare på vardera 1200 l/min  
Maximal påföring                4800 l/min

### Tättningsbrand

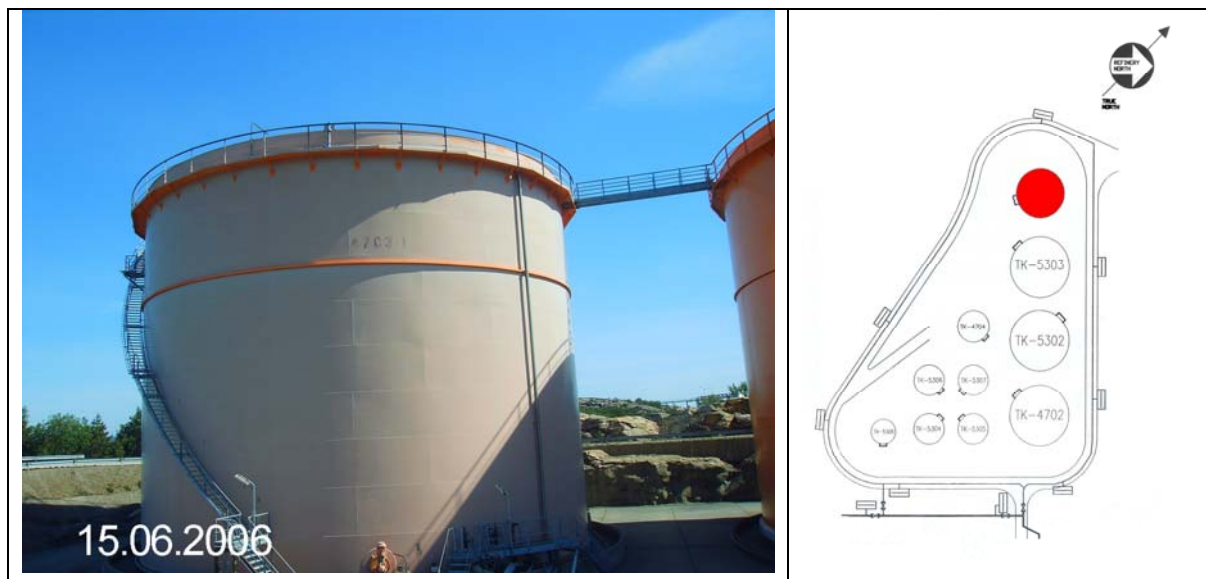
Påföringstid                        14 min

Skumvätskeåtgång  
(3 % inblandning)                2 m<sup>3</sup>

Tankbrand  
(påföringstid)                      55 min

Skumvätskeåtgång                8 m<sup>3</sup>, (3 % inblandning)

## Cistern 4703



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak

### Fakta

Innehåll	Lätt Reformat (10-15 % bensen, paraffin, aromater)
Brandklass	1
Diameter (m)	25,2
Höjd (m)	20
Volym (m <sup>3</sup> )	10 000

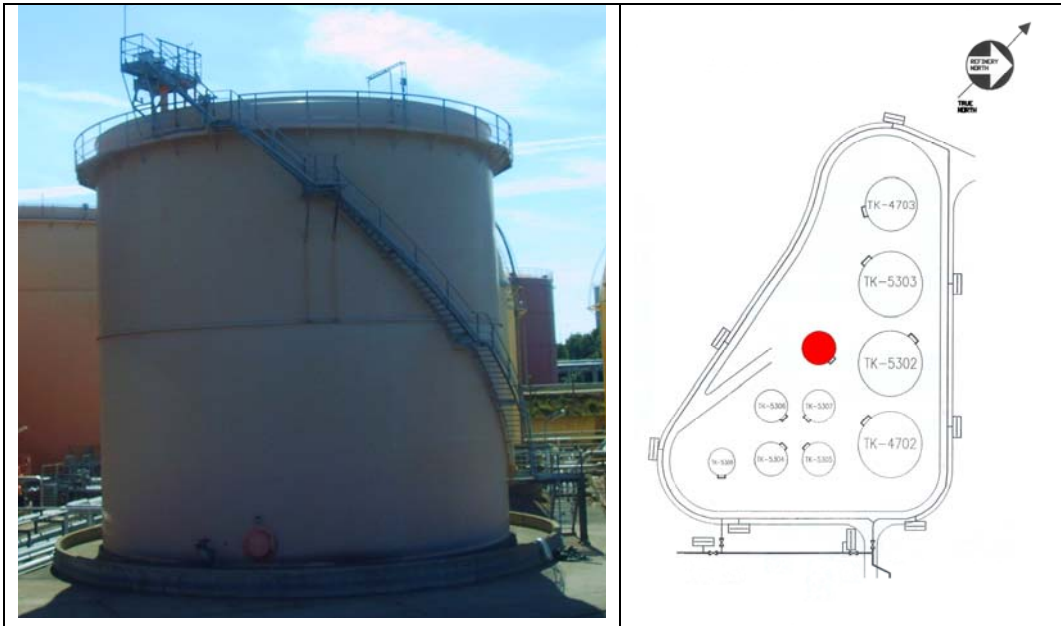
### Befintligt Brandskydd

Typ av system	Semi-fast system med övertopp påföring.
Kapacitet	4 st tungskumpåförare på vardera 850 l/min
Maximal påföring	3400 l/min

### Tättningsbrand

Påföringstid	14 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	1,5 m <sup>3</sup>
Tankbrand (påföringstid)	55 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	5,6 m <sup>3</sup>

## Cistern 4704



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak

### Fakta

Innehåll	Polybensin
Brandklass	1
Diameter (m)	7
Höjd (m)	16
Volym (m <sup>3</sup> )	3300

### Befintligt Brandskydd

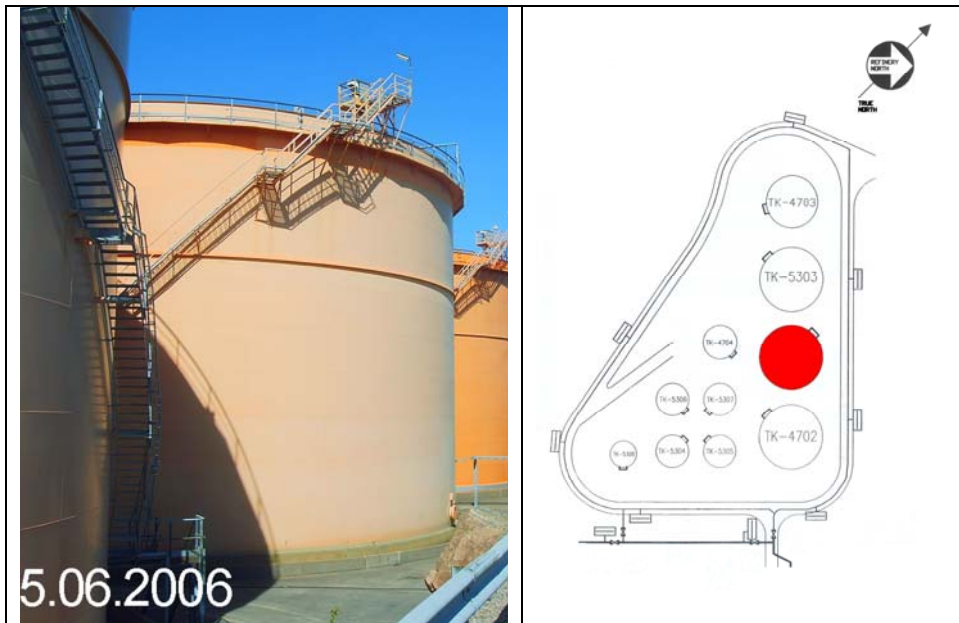
Typ av system	Semi-fast system med övertopp påföring.
Kapacitet	2 st tungskumpåförare på vardera 700 l/min
Maximal påföring	1400 l/min

### Tättningsbrand

Påföringstid	14 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	0,6 m <sup>3</sup>
Tankbrand (påföringstid)	55 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	2,3 m <sup>3</sup>



## Cistern 5302



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak

### Fakta

Innehåll	Reformat
Brandklass	1
Diameter (m)	31
Höjd (m)	20
Volym (m <sup>3</sup> )	15 000

### Befintligt Brandskydd

Typ av system	Semi-fast system med övertopp påföring.
Kapacitet	4 st tungskumpåförare på vardera 1200 l/min
Maximal påföring	4800 l/min

### Tättningsbrand

Påföringstid	14 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	2 m <sup>3</sup>
Tankbrand (påföringstid)	55 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	8 m <sup>3</sup>

## Cistern 5303



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak

### Fakta

Innehåll	Reformat
Brandklass	1
Diameter (m)	31
Höjd (m)	20
Volym (m <sup>3</sup> )	15 000

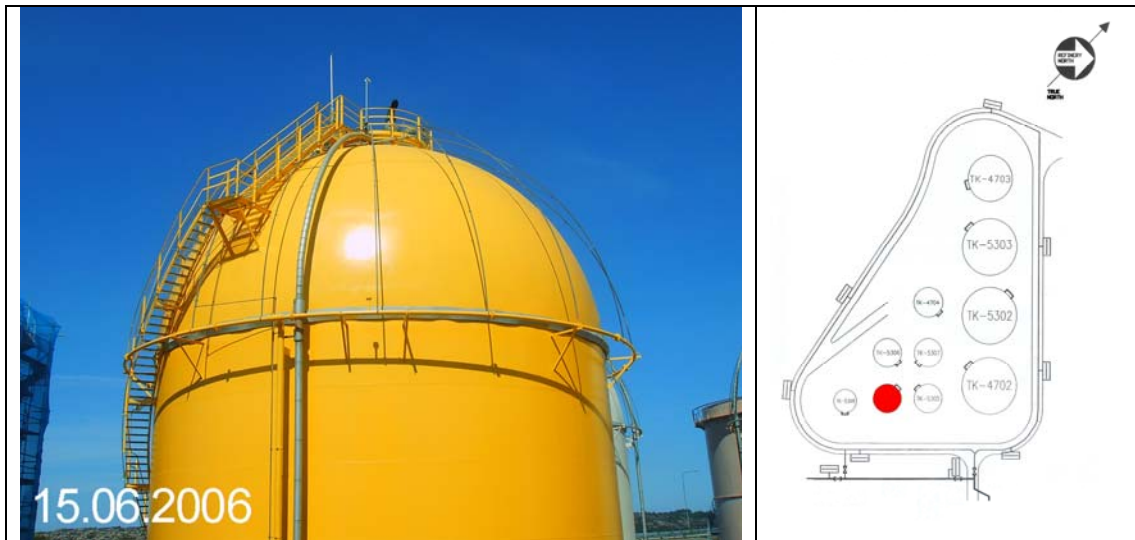
### Befintligt Brandskydd

Typ av system	Semi-fast system med övertopp påföring.
Kapacitet	4 st tungskumpåförare på vardera 1200 l/min
Maximal påföring	4800 l/min

### Tättningsbrand

Påföringstid	14 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	2 m <sup>3</sup>
Tankbrand (påföringstid)	55 min
Skumvätskeåtgång (3 % inblandning)	8 m <sup>3</sup>

## Cistern 5304



### Cisternkonstruktion

Halvsfär.

### Fakta

Innehåll	Isomerisat
Brandklass	1
Diameter (m)	15,5
Höjd (m)	12
Volym (m <sup>3</sup> )	3000

### Befintligt Brandskydd

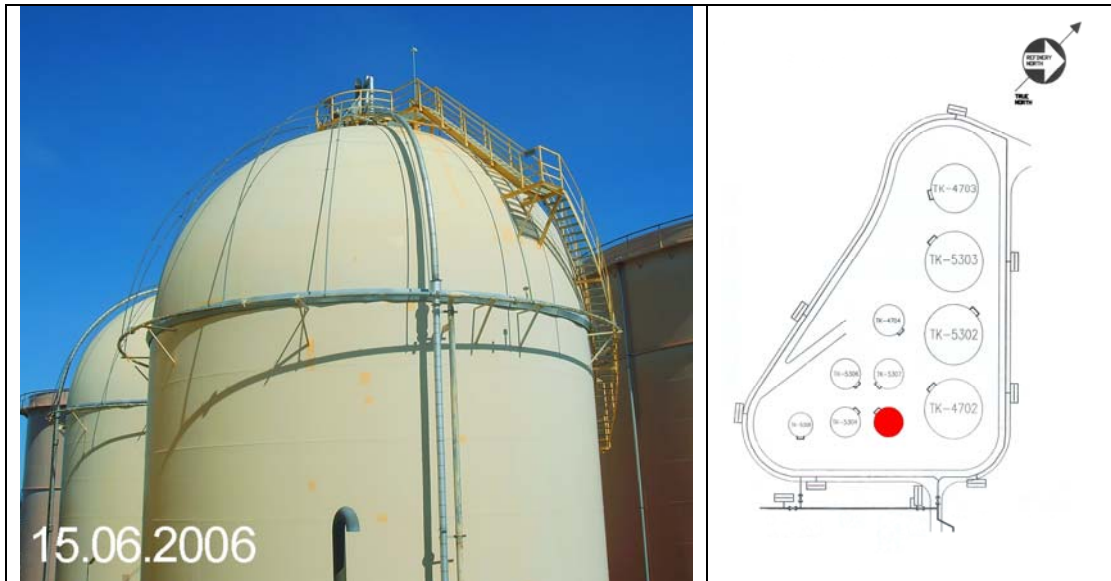
Typ av system                      Fast kylsprinkler.

Maximal påföring                4000 l/min

Aktivering                         Från kontrollrum eller bunkern

Säkerhetsventil                 Löser ut vid 0,6 bars tryck vilket uppnås vid ca 40 °C, flödeskapacitet 93 000 kg/h

## Cistern 5305



### Cisternkonstruktion

Halvsfär.

### Fakta

Innehåll	Isomerisat
Brandklass	1
Diameter (m)	15,5
Höjd (m)	12
Volym (m <sup>3</sup> )	3000

### Befintligt Brandskydd

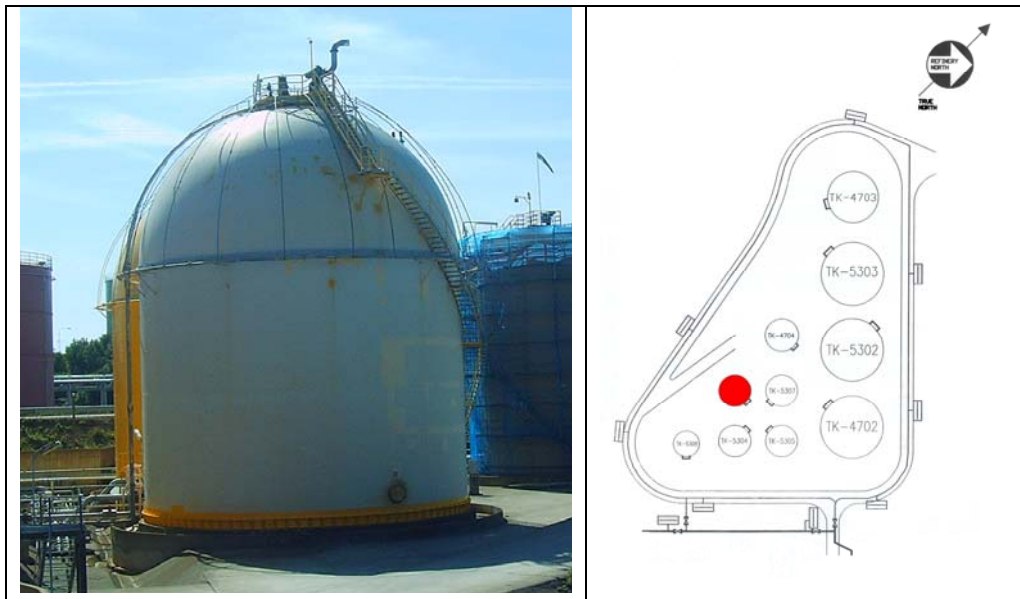
Typ av system                      Fast kylsprinkler.

Maximal påföring                4000 l/min

Aktivering                         Från kontrollrum eller bunkern

Säkerhetsventil                 Löser ut vid 0,6 bars tryck vilket uppnås vid ca 40 °C, flödeskapacitet 93 000 kg/h

## Cistern 5306



### Cisternkonstruktion

Halvsfär

### Fakta

Innehåll	Isomerisat
Brandklass	1
Diameter (m)	15,5
Höjd (m)	12
Volym (m <sup>3</sup> )	3000

### Befintligt Brandskydd

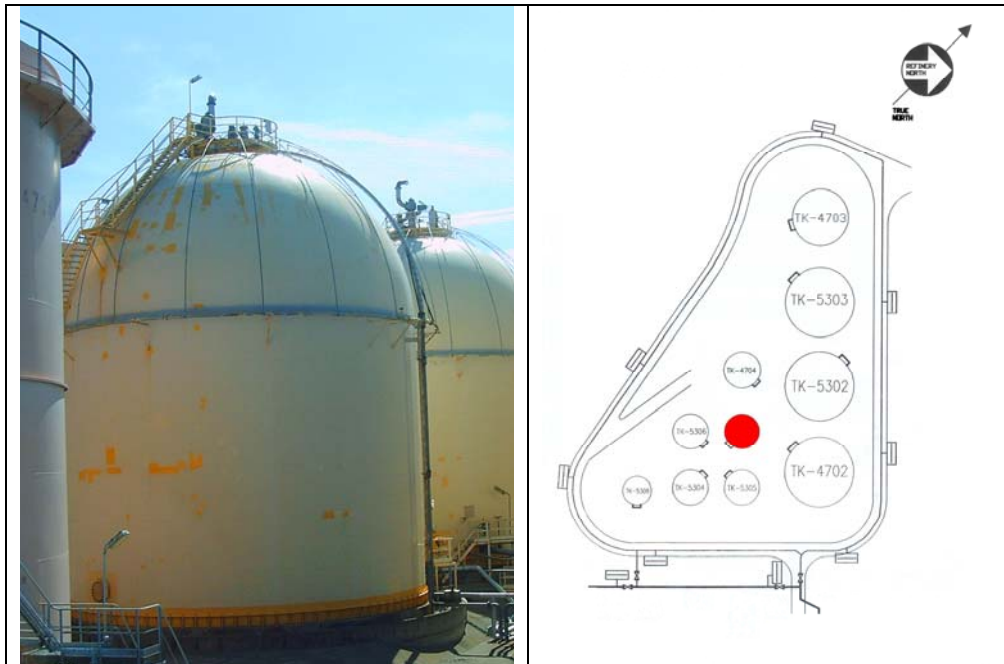
Typ av system            Fast kylsprinklersystem

Maximal påföring        4000 l/min

Aktivering                Från kontrollrum eller bunkern

Säkerhetsventil         Löser ut vid 0,6 bars tryck vilket uppnås vid ca 40 °C, flödeskapacitet 93 000 kg/h

## Cistern 5307



### Cisternkonstruktion

Halvsfär

### Fakta

Innehåll	Isomerisat
Brandklass	1
Diameter (m)	15,5
Höjd (m)	12
Volym (m <sup>3</sup> )	3000

### Befintligt Brandskydd

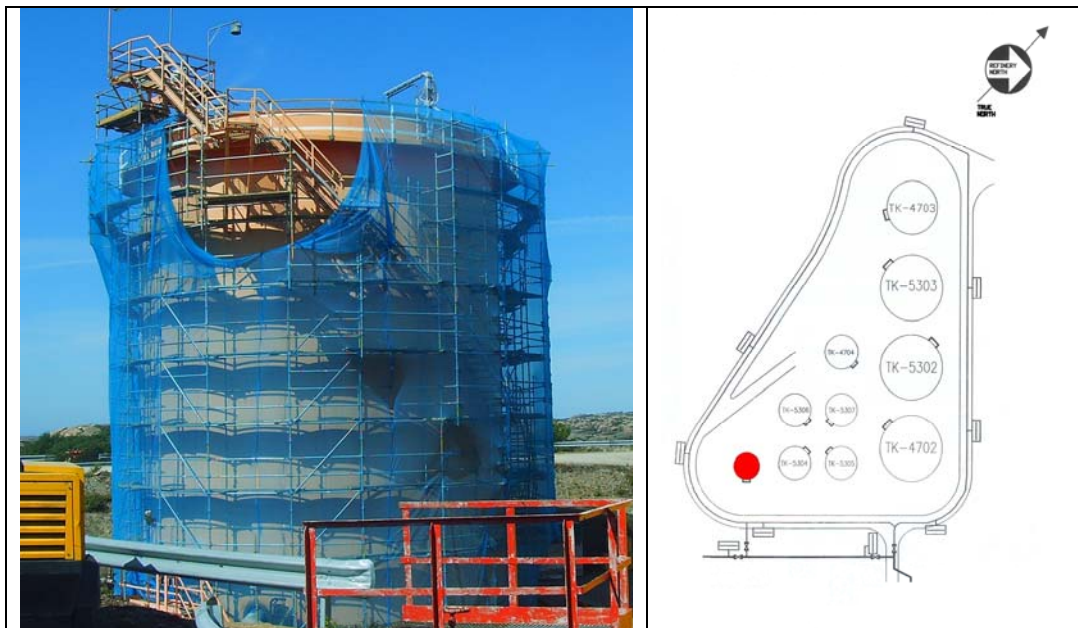
Typ av system                      Fast kylsprinklersystem

Maximal påföring                4000 l/min

Aktivering                         Från kontrollrum eller bunkern

Säkerhetsventil                 Löser ut vid 0,6 bars tryck vilket uppnås vid ca 40 °C, flödeskapacitet 93 000 kg/h

## Cistern 5308



### Cisternkonstruktion

Cylindriskt stålskrov med flytande tak

### Fakta

Innehåll	Polybensin
Brandklass	1
Diameter (m)	12,6
Höjd (m)	16
Volym (m <sup>3</sup> )	2000

### Befintligt Brandskydd

Typ av system                      Semi-fast system med övertopp påföring.

Kapacitet                            2 st tungskumpåförare på vardera 400 l/min

Maximal påföring                800 l/min

### Tättningsbrand

Påföringstid                        14 min

Skumvätskeåtgång  
(3 % inblandning)                0,35 m<sup>3</sup>

Tankbrand  
(påföringstid)                        55min

Skumvätskeåtgång  
(3% inblandning)                87 m<sup>3</sup>

## BILAGA B - Strålningsberäkningar utan vindpåverkan

Följande strålningsberäkningar syftar till att beräkna strålning mot en punkt belägen 8, 20, 30 och 40 meter från invallningen. Beräkningsstegen som leder fram till de olika strålningsintensiteterna på de aktuella avstånden förklaras metodiskt med slutmålet att hamna i intervallet 6-8 kW/m<sup>2</sup>.

### 1 Förbränningshastighet

Först beräknas förbränningshastigheten för pölbranden med följande formel:

$$b' = 1.0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{h_c}{h_v + c_v \cdot \Delta T}$$

Källa: FOA Handboken

#### 1.1 Isomerisat

$$b' = 1.0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{45,1 \cdot 10^6}{359,6 \cdot 10^3 + 1773 \cdot (295 - 283)} = 0,118 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

#### 1.2 Reformat

$$b' = 1.0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{45,1 \cdot 10^6}{425,7 \cdot 10^3 + 1705 \cdot (382 - 283)} = 0,076 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

#### 1.3 Heptan

$$b' = 1.0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{44,6 \cdot 10^6}{320 \cdot 10^3 + 2610 \cdot (372 - 283)} = 0,081 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

b'	Förbränningshastighet per ytenhet vid pölbrand	kg/m <sup>2</sup> s
h <sub>c</sub>	Energivärde	J/kg
h <sub>v</sub>	Ångbildningsvärme	J/kg
c <sub>v</sub>	Specifik värmekapacitet	J/kgK
ΔT	Skillnad kokpunkt och omgivningstemperatur	K

## 2 Flamhöjd

Två modeller för beräkning av flamhöjd används. Medelvärden av resultaten beräknas senare för att gå vidare. Anledningen till detta är att efter muntliga samtal med brandforskare<sup>97</sup> på SP (Statens Provings- & Forskningsanstalt) rekommenderas en flamhöjdsmodell framtagen av Heskestad. En diskussion kring hur flamhöjd bestäms och vad det innebär har också förts. Resultatet i diskussionerna har utmynnat i vikten att pålysa det faktum att medelflamhöjden beräknas i modellerna, inte maximal flamhöjd. Eftersom flammorna pulserar och vid större bränder delar upp sig från en stor flamma till många mindre kan den synliga flamhöjden te sig något lägre än den framräknade. Det är då viktigt att vara medveten om det faktum att sotpartiklar i brandgaserna ovan flammorna också avger värmestrålning och innefattas i den beräknade flamhöjden.

<sup>97</sup> Henry Persson, Haukur. SP. Muntliga referenser och mail



## 2.1 Thomas flamhöjdsmodell

$$\begin{cases} h_f = d_p \cdot 42 \left[ \frac{b'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d_p}} \right]^{0.61} \\ 0.8 < h_f/d_f < 4 \end{cases}$$

Källa: FOA Handboken

## 2.2 Heskestads flamhöjdsmodell, med tillhörande modell för beräkning av effektutveckling

$$L = 0,235 \cdot Q^{2/5} - 1,02 \cdot D$$

$$\begin{cases} \dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_{eff} \cdot \chi \\ \dot{m}'' = b' \end{cases}$$

Källa: Enclosure Fire Dynamics

## 2.3 Medelvärdesberäkning av flamhöjd

$$\bar{h}_f = \frac{h_f + L}{2}$$

$h_f, L$	Flamhöjd (pölbrand)	m
$d_p, D$	Pöldiameter	m
$\rho_a$	Luftens densitet = 1.29	kg/m <sup>3</sup>
$g$	Tyngdaccelerationen = 9,81	m/s <sup>2</sup>
$Q$	Effektutveckling	MW
$A_f$	Brandens area	m <sup>2</sup>
$\Delta H_{eff}$	Effektiv förbränningsentalpi	MJ/kg
$\chi$	förbränningseffektivitet	

## 2.4 Isomerisat

$$h_f = 50 \cdot 42 \left[ \frac{0,118}{1,29 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 50}} \right]^{0,61} = 73,8 \text{ m}$$

$$\frac{h_f}{d_f} = \frac{73,8}{50} = 1,48$$

Ok, villkoret uppfylls!

$$\Delta H_{eff} = 45,1 \cdot 0,7 \frac{MJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = \frac{50^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,118 \cdot 45,1 \cdot 0,7 = 7300 MW$$

$$L = 0,235 \cdot 7300000^{2/5} - 1,02 \cdot 50 = 79 \text{ m}$$

$$\bar{h}_f = \frac{73,8 + 79}{2} \approx 75 \text{ m}$$

## 2.5 Reformat

$$h_f = 50 \cdot 42 \left[ \frac{0,0759}{1,29 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 50}} \right]^{0,61} = 56,4 \text{ m}$$

$$\frac{h_f}{d_f} = \frac{56,4}{50} = 1,13$$

Ok, villkoret uppfylls!

$$\Delta H_{eff} = 45,1 \cdot 0,7 \frac{MJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = \frac{50^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,0759 \cdot 45,1 \cdot 0,7 = 4700 MW$$

$$L = 0,235 \cdot 4700000^{2/5} - 1,02 \cdot 50 = 58 \text{ m}$$

$$\bar{h}_f = \frac{56,4 + 58}{2} \approx 57 \text{ m}$$

## 2.6 Heptan

$$h_f = 50 \cdot 42 \left[ \frac{0,08075}{1,29 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 50}} \right]^{0,61} = 58,5 \text{ m}$$

$$\frac{h_f}{d_f} = \frac{58,5}{50} = 1,17$$

Ok, villkoret uppfylls!

$$\Delta H_{eff} = 44,6 \cdot 0,7 \frac{MJ}{kg}$$

$$\dot{Q} = \frac{50^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,08075 \cdot 44,6 \cdot 0,7 = 4950 MW$$

$$L = 0,235 \cdot 4950000^{2/5} - 1,02 \cdot 50 = 60 \text{ m}$$

$$\bar{h}_f = \frac{58,5 + 60}{2} \approx 60 m$$

### 3 Utgående strålningsintensitet

Här beräknas brandens utgående strålningsintensitet

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4 \cdot h_f / d_f}$$

Källa: FOA Handboken

P	Strålning	W/m <sup>2</sup>
d <sub>f</sub>	Flamdiameter (pölbrand)	m

#### 3.1 Isomerisat

$$P = \frac{0,35 \cdot 0,118 \cdot 45,1 \cdot 10^6}{1 + 4 \cdot 73,8/50} = 270 \text{ kW/m}^2$$

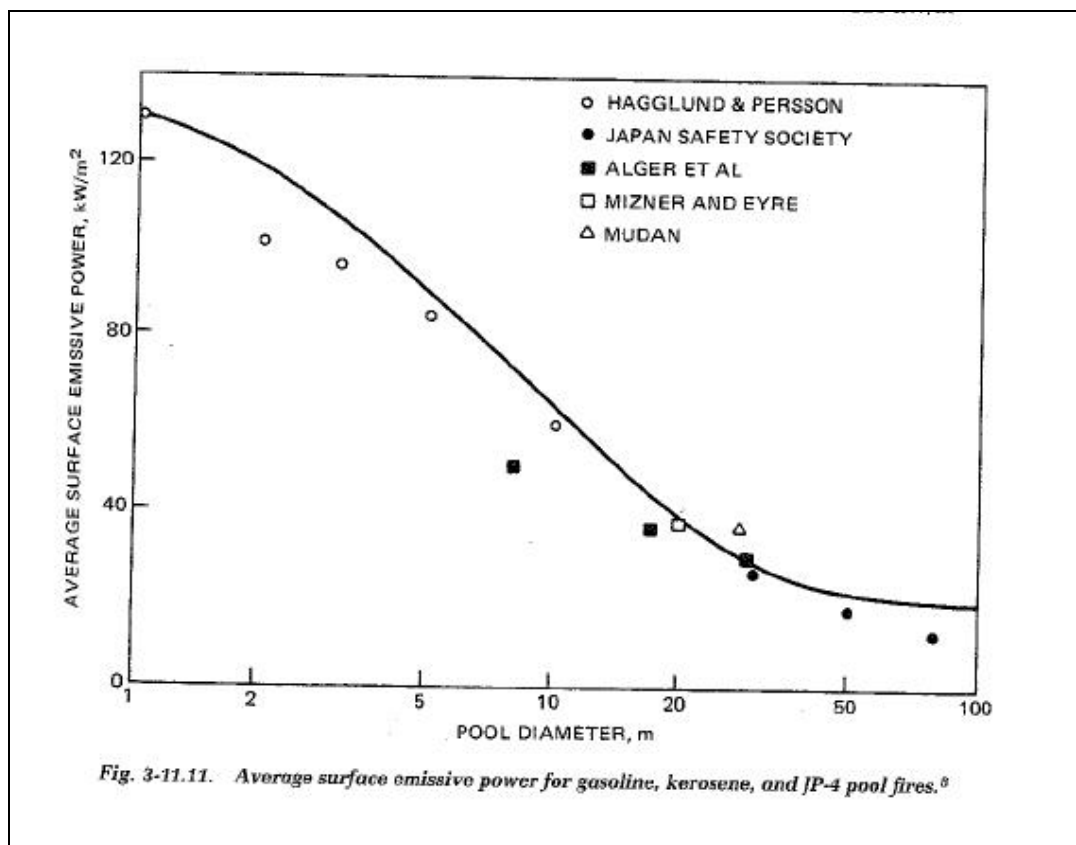
#### 3.2 Reformat

$$P = \frac{0,35 \cdot 0,0759 \cdot 45,1 \cdot 10^6}{1 + 4 \cdot 56,4/50} = 217 \text{ kW/m}^2$$

#### 3.3 Heptan

$$P = \frac{0,35 \cdot 0,08075 \cdot 44,6 \cdot 10^6}{1 + 4 \cdot 58,5/50} = 222 \text{ kW/m}^2$$

Strålningsintensiteterna ovan har kapitel 4.2 diskuterats och jämförts med experimentresultat. För tabell som visar detta experimentresultat hänvisas till figur 4.2 samt figur B:1 på nästa sida. Om figuren avläses med 50 meter i pöldiameter på x-axeln ges ca 30 kW/m<sup>2</sup> på y-axeln. Det visar sig då att det beräknade värdet överstiger experimentresultatet med ungefär faktor 8. Detta anses vara fullständigt orimligt och innebär att beräkningsmodellerna från FOA-handboken inte är giltiga för bränder i denna storleksordning. Experimentresultaten anses vara mer pålitliga och därför används figur B:1 för att gå vidare i beräkningsgången.



Figur B:1<sup>98</sup>

## 4 Flamtemperatur

$$P = \sigma \cdot T^4 \Leftrightarrow T = \left( \frac{P}{\sigma} \right)^{1/4}$$

Källa: FOA Handboken

$\sigma$	Stefan-Boltzmanns konstant = $5.67 \cdot 10^{-8}$	W m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>
T	Temperatur	K

### 4.1 Gemensam flamtemperatur för de tre ämnena

$$T = \left( \frac{30 \cdot 10^3}{5.67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} 853 \text{ K} \approx 850 \text{ K}$$

<sup>98</sup> "FIRE HAZARD FOR LARGE OPEN HYDROCARBON FIRES", The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, second edition, 1995

## 5 Avståndet till strålningskällan antas vara 8 meter

### 5.1 Atmosfärisk transmissionsförmåga

Hänsyn tas till att en viss del av strålningen absorberas av luften mellan strålkällan och mottagaren. Beräkningarna begränsas till luftens innehåll av vattenånga och koldioxid.

$$\tau_{a(850 \text{ K})} = 1 - \alpha_w - \alpha_c$$

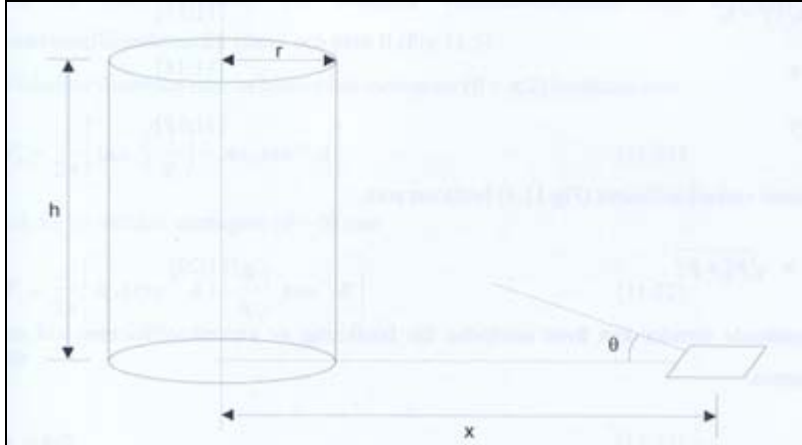
Källa:FOA Handboken, sid 324-325

$\tau_a$	Transmissionsförmåga	-
$\alpha_w$	Absorptionsfaktor för vattenånga	-
$\alpha_c$	Absorptionsfaktor för koldioxid	-

$$\tau_{a(850 \text{ K})} = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,15 - 0,02 = 0,83$$

### 5.2 Synfaktor

Modell från FOA-handboken används där flammans form approximeras till en cylinder som utgår från pölbrandens diameter. På grund av svårigheter i avläsning av diagram för synfaktor beräknas istället synfaktorn för de olika flamhöjderna som genererats av de tre använda bränslen.



Figur B:2 Approximering av flaman till en cylinder<sup>99</sup>

$$(11.14): \quad F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r + 1}{x_r - 1}} - \frac{x_r^2 - 1 + h_r^2}{\sqrt{AB}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} \right)$$

$$(11.15): \quad F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{x_r} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r(A - 2 \cdot x_r)}{x_r \cdot \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r - 1)A}{(x_r + 1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r - 1}{x_r + 1}} \right)$$

<sup>99</sup> FOA-handboken

$$(11.16): A = (x_r + 1)^2 + h_r^2$$

$$(11.17): B = (x_r - 1)^2 + h_r^2$$

$$(11.18): h_r = \frac{h}{r}$$

$$(11.19): x_r = \frac{x}{r}$$

$$(11.20): F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2}$$

Källa: FOA-handboken sidorna 326-327

## 5.2.1 Isomerisat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 75 - 6 = 69 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 8 + 25 = 33 \text{ m}$$

$$x_r = \frac{33}{25} = 1,32$$

$$h_r = \frac{69}{25} = 2,76$$

$$B = \left(\frac{33}{25} - 1\right)^2 + \left(\frac{69}{25}\right)^2 = 7,72$$

$$A = \left(\frac{33}{25} + 1\right)^2 + \left(\frac{69}{25}\right)^2 = 13$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,32+1}{1,32-1}} - \frac{1,32^2 - 1 + 2,76^2}{\sqrt{13 \cdot 7,72}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,32-1) \cdot 13}{(1,32+1) \cdot 7,72}} \right) = 0,2675$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} (1,2152 - 0,834499 \cdot 0,449096) = 0,2675$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,76}{\sqrt{1,32^2 - 1}} \right) + \frac{2,76 \cdot (13 - 2 \cdot 1,32)}{1,32 \cdot \sqrt{13 \cdot 7,72}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,32-1) \cdot 13}{(1,32+1) \cdot 7,72}} - \left( -\frac{2,76}{1,32} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,32-1}{1,32+1}} \right) \right) = 0,7528$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot 1,26819985 + 1,192517 \cdot 0,449096 - \frac{2,76}{1,32} \cdot 0,355603 \right) = 0,7528$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,2675^2 + 0,7528^2} = 0,80$$

### 5.2.2 Reformat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 57 - 6 = 51 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 8 + 25 = 33 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{51}{25} = 2,04$$

$$x_r = \frac{33}{25} = 1,32$$

$$A = (1,32 + 1)^2 + 2,04^2 = 9,544$$

$$B = (1,32 - 1)^2 + 2,04^2 = 4,264$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,32+1}{1,32-1}} - \frac{1,32^2 - 1 + 2,04^2}{\sqrt{9,544 \cdot 4,264}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,32-1) \cdot 9,544}{(1,32+1) \cdot 4,264}} \right) = 0,2627$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} (1,215194 - 0,768735 \cdot 0,5071573) = 0,2627$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,04}{\sqrt{1,32^2 - 1}} \right) + \frac{2,04 \cdot (9,544 - 2 \cdot 1,32)}{1,32 \cdot \sqrt{9,544 \cdot 4,264}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,32-1) \cdot 9,544}{(1,32+1) \cdot 4,264}} - \frac{2,04}{1,32} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,32-1}{1,32+1}} \right) = 0,3775$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot 1,171159 + 1,672566 \cdot 0,5071573 - 0,549568 \right) = 0,3775$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,2627^2 + 0,3775^2} = 0,46$$

### 5.2.3 Heptan

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 60 - 6 = 54 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 8 + 25 = 33 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{54}{25} = 2,16$$

$$x_r = \frac{33}{25} = 1,32$$

$$A = (1,32 + 1)^2 + 2,16^2 = 10,05$$

$$B = (1,32 - 1)^2 + 2,16^2 = 4,768$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \frac{\sqrt{1,32+1}}{\sqrt{1,32-1}} - \frac{1,32^2 - 1 + 2,16^2}{\sqrt{10,05 \cdot 4,768}} \cdot \tan^{-1} \frac{\sqrt{(1,32-1) \cdot 10,05}}{\sqrt{(1,32+1) \cdot 4,768}} \right) = 0,2638$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} (1,215194 - 0,781242 \cdot 0,4945098) = 0,2638$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,16}{\sqrt{1,32^2 - 1}} \right) + \frac{2,16 \cdot (10,05 - 2 \cdot 1,32)}{1,32 \cdot \sqrt{10,05 \cdot 4,768}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{(1,32-1) \cdot 10,05}}{\sqrt{(1,32+1) \cdot 4,768}} - \frac{2,16}{1,32} \cdot \tan^{-1} \frac{\sqrt{1,32-1}}{\sqrt{1,32+1}} \right) = 0,3778$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,32} \cdot 1,1912376 + 1,751648 \cdot 0,4945098 - \frac{2,16}{1,32} \cdot 0,355603 \right) = 0,3778$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,2638^2 + 0,3778^2} = 0,46$$

### 5.3 Infallande strålning

$$P = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max}$$

Källa: FOA Handboken

#### 5.3.1 Isomerisat

$$P_{8m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,83 \cdot 0,8 = 20 \text{ kW/m}^2$$

#### 5.3.2 Reformat

$$P_{8m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,83 \cdot 0,46 = 11,5 \text{ kW/m}^2$$

#### 5.3.3 Heptan

$$P_{8m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,83 \cdot 0,5 = 11,5 \text{ kW/m}^2$$



## 6 Avståndet till strålningskällan antas vara 20 meter

### 6.1 Atmosfärisk transmissionsförmåga

$$\tau_{a(850 \text{ K})} = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,19 - 0,03 = 0,78$$

### 6.2 Synfaktor

#### 6.2.1 Isomerisat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 75 - 6 = 69 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 20 + 25 = 45 \text{ m}$$

$$x_r = \frac{45}{25} = 1,8$$

$$h_r = \frac{69}{25} = 2,76$$

$$B = (1,8 - 1)^2 + 2,76^2 = 8,2576$$

$$A = (1,8 + 1)^2 + 2,76^2 = 15,4576$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8+1}{1,8-1}} - \frac{1,8^2 - 1 + 2,76^2}{\sqrt{15,458 \cdot 8,258}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 15,458}{(1,8+1) \cdot 8,258}} \right) = 0,20740$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,8} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,76}{\sqrt{1,8^2 - 1}} \right) + \frac{2,76 \cdot (15,458 - 2 \cdot 1,8)}{1,8 \cdot \sqrt{15,458 \cdot 8,258}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 15,458}{(1,8+1) \cdot 8,258}} - \left( -\frac{2,76}{1,8} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8-1}{1,8+1}} \right) \right) = 0,4507$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,2074^2 + 0,4507^2} = 0,496$$

#### 6.2.2 Reformat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 57 - 6 = 51 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 20 + 25 = 45 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{51}{25} = 2,04$$

$$x_r = \frac{45}{25} = 1,8$$

$$A = (1,8 + 1)^2 + 2,04^2 = 12,00$$

$$B = (1,8 - 1)^2 + 2,04^2 = 4,802$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8+1}{1,8-1}} - \frac{1,8^2 - 1 + 2,04^2}{\sqrt{12,00 \cdot 4,802}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 12,00}{(1,8+1) \cdot 4,802}} \right) = 0,155422$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,8} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,04}{\sqrt{1,8^2 - 1}} \right) + \frac{2,04 \cdot (12,00 - 2 \cdot 1,8)}{1,8 \cdot \sqrt{12,00 \cdot 4,802}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 12,00}{(1,8+1) \cdot 4,802}} - \frac{2,04}{1,8} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8-1}{1,8+1}} \right) = 0,2688$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,155422^2 + 0,2688^2} = 0,31$$

### 6.2.3 Heptan

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 60 - 6 = 54 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 20 + 25 = 45 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{54}{25} = 2,16$$

$$x_r = \frac{45}{25} = 1,8$$

$$A = (1,8+1)^2 + 2,16^2 = 12,51$$

$$B = (1,8-1)^2 + 2,16^2 = 5,306$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8+1}{1,8-1}} - \frac{1,8^2 - 1 + 2,16^2}{\sqrt{12,51 \cdot 5,306}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 12,51}{(1,8+1) \cdot 5,306}} \right) = 0,158324$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{1,8} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,16}{\sqrt{1,8^2 - 1}} \right) + \frac{2,16 \cdot (12,51 - 2 \cdot 1,8)}{1,8 \cdot \sqrt{12,51 \cdot 5,306}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(1,8-1) \cdot 12,51}{(1,8+1) \cdot 5,306}} - \frac{2,16}{1,8} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1,8-1}{1,8+1}} \right) = 0,2702$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,1583^2 + 0,2702^2} = 0,31$$

## 6.3 Infallande strålning

### 6.3.1 Isomerisat

$$P_{20 \text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,78 \cdot 0,496 = 12 \text{ kW/m}^2$$

### 6.3.2 Reformat

$$P_{20\text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\text{max}} = 30 \cdot 0,78 \cdot 0,31 = 7 \text{ kW/m}^2$$

### 6.3.3 Heptan

$$P_{20\text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\text{max}} = 30 \cdot 0,78 \cdot 0,31 = 7 \text{ kW/m}^2$$

## 7 Avståndet till strålningskällan antas vara 30 meter

### 7.1 Atmosfärisk transmissionsförmåga

$$\tau_{a(850\text{ K})} = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,25 - 0,035 = 0,72$$

### 7.2 Synfaktor

#### 7.2.1 Isomerisat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 75 - 6 = 69 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 30 + 25 = 55 \text{ m}$$

$$x_r = \frac{55}{25} = 2,2$$

$$h_r = \frac{69}{25} = 2,76$$

$$B = (2,2 - 1)^2 + 2,76^2 = 9,0576$$

$$A = (2,2 + 1)^2 + 2,76^2 = 17,858$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2+1}{2,2-1}} - \frac{2,2^2 - 1 + 2,76^2}{\sqrt{17,858 \cdot 9,0576}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 17,858}{(2,2+1) \cdot 9,0576}} \right) = 0,1284$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,76}{\sqrt{2,2^2 - 1}} \right) + \frac{2,76 \cdot (17,858 - 2 \cdot 2,2)}{2,2 \cdot \sqrt{17,858 \cdot 9,0576}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 17,858}{(2,2+1) \cdot 9,0576}} - \left( -\frac{2,76}{2,2} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2-1}{2,2+1}} \right) \right) = 0,2084$$

$$F_{\text{max}} = \sqrt{0,1284^2 + 0,2084^2} = 0,24$$

#### 7.2.2 Reformat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 57 - 6 = 51 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 30 + 25 = 55 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{51}{25} = 2,04$$

$$x_r = \frac{55}{25} = 2,2$$

$$A = (2,2 + 1)^2 + 2,04^2 = 14,40$$

$$B = (2,2 - 1)^2 + 2,04^2 = 5,602$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2+1}{2,2-1}} - \frac{2,2^2 - 1 + 2,04^2}{\sqrt{14,40 \cdot 5,602}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 14,40}{(2,2+1) \cdot 5,602}} \right) = 0,1050$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,04}{\sqrt{2,2^2 - 1}} \right) + \frac{2,04 \cdot (14,40 - 2 \cdot 2,2)}{2,2 \sqrt{14,40 \cdot 5,602}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 14,40}{(2,2+1) \cdot 5,602}} - \left( -\frac{2,04}{2,2} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2-1}{2,2+1}} \right) \right) = 0,2369$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,1050^2 + 0,2369^2} = 0,26$$

### 7.2.3 Heptan

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 60 - 6 = 54 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 30 + 25 = 55 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{54}{25} = 2,16$$

$$x_r = \frac{55}{25} = 2,2$$

$$A = (2,2 + 1)^2 + 2,16^2 = 14,91$$

$$B = (2,2 - 1)^2 + 2,16^2 = 5,684$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2+1}{2,2-1}} - \frac{2,2^2 - 1 + 2,16^2}{\sqrt{14,91 \cdot 5,684}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 14,91}{(2,2+1) \cdot 5,684}} \right) = 0,158324$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,16}{\sqrt{2,2^2 - 1}} \right) + \frac{2,16 \cdot (14,91 - 2 \cdot 2,2)}{2,2 \cdot \sqrt{14,91 \cdot 5,684}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,2-1) \cdot 14,91}{(2,2+1) \cdot 5,684}} - \left( -\frac{2,16}{2,2} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,2-1}{2,2+1}} \right) \right) = 0,2702$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,1067^2 + 0,2277^2} = 0,25$$

## 7.3 Infallande strålning

### 7.3.1 Isomerisat

$$P_{30m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,72 \cdot 0,24 = 5 \text{ kW/m}^2$$

### 7.3.2 Reformat

$$P_{30m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,72 \cdot 0,26 = 6 \text{ kW/m}^2$$

### 7.3.3 Heptan

$$P_{30m} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,72 \cdot 0,25 = 5 \text{ kW/m}^2$$

## 8 Avståndet till strålningskällan antas vara 40 meter

### 8.1 Atmosfärisk transmissionsförmåga

$$\tau_{a(850 \text{ K})} = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,25 - 0,04 = 0,71$$

### 8.2 Synfaktor

#### 8.2.1 Isomerisat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 75 - 6 = 69 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 40 + 25 = 65 \text{ m}$$

$$x_r = \frac{65}{25} = 2,6$$

$$h_r = \frac{69}{25} = 2,76$$

$$B = (2,6 - 1)^2 + 2,76^2 = 10,18$$

$$A = (2,6 + 1)^2 + 2,76^2 = 20,58$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6+1}{2,6-1}} - \frac{2,6^2 - 1 + 2,76^2}{\sqrt{20,58 \cdot 10,18}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6-1) \cdot 20,58}{(2,6+1) \cdot 10,18}} \right) = 0,08964$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,6} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,76}{\sqrt{2,6^2 - 1}} \right) + \frac{2,76 \cdot (20,58 - 2 \cdot 2,6)}{2,6 \cdot \sqrt{20,58 \cdot 10,18}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6-1) \cdot 20,58}{(2,6+1) \cdot 10,18}} - \left( -\frac{2,76}{2,6} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6-1}{2,6+1}} \right) \right) = 0,1784$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,08964^2 + 0,1784^2} = 0,20$$

### 8.2.2 Reformat

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 57 - 6 = 51 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 40 + 25 = 65 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{51}{25} = 2,04$$

$$x_r = \frac{65}{25} = 2,6$$

$$A = (2,6 + 1)^2 + 2,04^2 = 17,12$$

$$B = (2,6 - 1)^2 + 2,04^2 = 6,722$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6+1}{2,6-1}} - \frac{2,6^2 - 1 + 2,04^2}{\sqrt{17,12 \cdot 6,722}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6-1) \cdot 17,12}{(2,6+1) \cdot 6,722}} \right) = 0,07250$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,6} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,04}{\sqrt{2,6^2 - 1}} \right) + \frac{2,04 \cdot (17,12 - 2 \cdot 2,6)}{2,6 \cdot \sqrt{17,12 \cdot 6,722}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6-1) \cdot 17,12}{(2,6+1) \cdot 6,722}} - \frac{2,04}{2,6} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6-1}{2,6+1}} \right) = 0,1659$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,07250^2 + 0,1659^2} = 0,18$$

### 8.2.3 Heptan

$$r = 25 \text{ m}$$

$$h = 60 - 6 = 54 \text{ m}$$

h minskas med 6 meter för att kompensera för invallningens djup

$$x = 40 + 25 = 65 \text{ m}$$

$$h_r = \frac{54}{25} = 2,16$$

$$x_r = \frac{65}{25} = 2,6$$

$$A = (2,6 + 1)^2 + 2,16^2 = 17,63$$

$$B = (2,6 - 1)^2 + 2,16^2 = 7,23$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left( \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6+1}{2,6-1}} - \frac{2,6^2 - 1 + 2,16^2}{\sqrt{17,63 \cdot 7,23}} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6-1) \cdot 17,63}{(2,6+1) \cdot 7,23}} \right) = 0,07607$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2,6} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,16}{\sqrt{2,6^2 - 1}} \right) + \frac{2,16 \cdot (17,63 - 2 \cdot 2,6)}{2,6 \cdot \sqrt{17,63 \cdot 7,23}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(2,6 - 1) \cdot 17,63}{(2,6 + 1) \cdot 7,23}} - \frac{2,16}{2,6} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{2,6 - 1}{2,6 + 1}} \right) = 0,1687$$

$$F_{\max} = \sqrt{0,07607^2 + 0,1687^2} = 0,19$$

### **8.3 Infallande strålning**

#### **8.3.1 Isomerisat**

$$P_{40\text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,71 \cdot 0,20 = 4 \text{ kW/m}^2$$

#### **8.3.2 Reformat**

$$P_{40\text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,71 \cdot 0,18 = 4 \text{ kW/m}^2$$

#### **8.3.3 Heptan**

$$P_{40\text{ m}} = P \cdot \tau_a \cdot F_{\max} = 30 \cdot 0,71 \cdot 0,19 = 4 \text{ kW/m}^2$$

# BILAGA C - Strålningsberäkningar med vindpåverkan

Metod enligt: The Yellow Book

## 1

Beräkningsmetoden bygger på en cirkulär pölbrand. Därför antas pöldiametern uppgå till 50 meter vilket motsvarar en invallningsbrand enligt figur 5:1.

$D = 50 \text{ m}$

## 2

Beräkning av massavbrinningshastigheten för pölbranden.

$$\begin{cases} \dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\beta}) \\ k\beta = 2,1 \text{ m}^{-1} \\ \dot{m}''_{\infty} = 0,055 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} (\text{bensin}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \dot{m}'' = 0,055 (1 - e^{-2,1 \cdot 50}) = 0,055 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Eftersom diametern är så stor inträffar sambandet:  $\dot{m}'' \approx \dot{m}''_{\infty}$

## 3

Beräkning av karakteristisk vindhastighet

$$\begin{cases} u_c = \left( \frac{g \cdot \dot{m}'' \cdot D}{\delta_{\text{luft}}} \right)^{\frac{1}{3}} \\ g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ \delta_{\text{luft}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow u_c = \left( \frac{9,81 \cdot 0,055 \cdot 50}{1,2} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,822 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## 4

Beräkning av dimensionslös vindhastighet

$$\begin{cases} u^* = \frac{u_w}{u_c} \\ u_w = 5,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} (\text{medelvindhastigheten}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow u^* = \frac{5,8}{2,822} = 2,05$$



## 5

Beräkning av flammornas medelhöjd

$$\frac{L}{D} = 55 \cdot \left( \frac{\dot{m}''}{\left( \delta_{luft} (g \cdot D)^{\frac{1}{2}} \right)} \right)^{0,67} \cdot (u^*)^{0,21} = 55 \cdot \left( \frac{0,055}{\left( 1,2(9,81 \cdot 50)^{\frac{1}{2}} \right)} \right)^{0,67} \cdot (2,05)^{0,21} = 1,017$$

$$L = 1,017 \cdot D = 1,017 \cdot 50 = 50,9 \text{ m}$$

Eftersom invallningen är 6 meter djup jämfört med brandposten kompenseras detta:

$$L = 50,9 - 6 = 44,9 \text{ m}$$

## 6

Bestämning av flammans lutningsvinkel på grund av vindpåverkan

$$Fr_{10} = \frac{u_w^2}{g \cdot D} = \frac{5,8^2}{9,81 \cdot 50} = 0,0686$$

$$\begin{cases} Re = \frac{u_w \cdot D}{\nu} \\ \nu = 14,2 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \end{cases}$$

$$\Rightarrow Re = \frac{5,8 \cdot 50}{14,2 \cdot 10^{-6}} = 2,04 \cdot 10^7$$

$$\frac{\tan \Theta}{\cos \Theta} = 0,666 \cdot (Fr_{10})^{0,333} \cdot (Re)^{0,117} = 0,666 \cdot (0,0686)^{0,333} \cdot (2,04 \cdot 10^7)^{0,117} = 1,955$$

$$\Theta = \arcsin \left( \frac{\left( (4 \cdot 1,955^2 + 1)^{0,5} - 1 \right)}{(2 \cdot 1,955)} \right) = 50,9^\circ$$

## 7

Bestämning av flammans bas

### 7.1

Konisk flammodell

$$\frac{D'}{D} = 1,6 \cdot (Fr_{10})^{0,061} = 1,6 \cdot (0,0686)^{0,061} = 1,359$$

$$D' = 1,359 \cdot 50 = 67,95 \text{ m}$$

### 7.2

Cylindrisk flammodell

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot (Fr_{10})^{0,069} = 1,5 \cdot (0,0686)^{0,069} = 1,247$$

$$D' = 1,247 \cdot 50 = 62,3 \text{ m}$$

## 8

Beräkning av SEP (Surface Emissive Power) för en lutande cylindrisk flamma

$$SEP = 140 \cdot 10^3 \cdot e^{-0,12 \cdot D} + 20 \cdot 10^3 (1 - e^{-0,12 \cdot D})$$

$$SEP = 140 \cdot 10^3 \cdot e^{-0,12 \cdot 50} + 20 \cdot 10^3 (1 - e^{-0,12 \cdot 50}) = 2,03 \cdot 10^4 \frac{W}{m^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} SEP_{\max} = \frac{F_s \cdot \dot{m} \cdot \Delta H_c}{1 + 4 \cdot \frac{L}{D}} \\ F_s = 0,20 \text{ (enligt ta ble 6.6)} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow SEP_{\max} = \frac{0,20 \cdot 0,055 \cdot 4,5 \cdot 10^7}{1 + 4 \cdot 1,017} = 9,77 \cdot 10^4 \frac{W}{m^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} SEP_{\text{act}} = SEP_{\max} \cdot (1 - \zeta) + SEP_{\text{soot}} \cdot \zeta \\ \zeta = 0,8 \text{ för heptan (ämnnesberoende strålningsfaktor)} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow SEP_{\text{act}} = 9,77 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,8) + 20 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 3,55 \cdot 10^4 \frac{W}{m^2}$$

$$SEP_{\text{act}} \text{ korrigeras efter figur B:1 till } 30 \frac{\text{kW}}{m^2}$$

## 9 Avståndet till strålningskällan antas vara 50 meter

### 9.1

Bestämning av absorption på grund av vattenångan  $\alpha_w$  i luften för en flamtemperatur på 850 K enligt figur 6.2 i avsnitt 6.5.2.4.

$$\left\{ \begin{array}{l} p_w = RH \cdot p_w^o \\ RH = 0,90 \text{ (enligt Preemraff)} \\ p_w^o = 1230 \text{ Pa (vid } 10^\circ \text{ C)} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow p_w = 0,90 \cdot 1230 = 1107 \text{ Pa}$$

$$x = 50 \text{ m (avstånd från flammen)}$$

$$p_w \cdot x = 1107 \cdot 50 = 5,5 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_w = 0,27$$

### 9.2

Bestämning av absorption beroende av koldioxid  $\alpha_c$  i luften för en flamtemperatur på 850 K enligt figur 6.2 i avsnitt 6.5.2.4.

$$p_c = 30 \text{ Pa (ungefär samma partialtryck oberoende av temperatur och luftfuktighet)}$$

$$p_c \cdot x = 30 \cdot 50 = 1500 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_c = 0,04$$

### 9.3

Summering av luftens transmissionsförmåga

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,27 - 0,04 = 0,69$$

### 9.4

Bestämning av synfaktor

$$a = \frac{L}{R} = \frac{44,9}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 1,8$$

$$b = \frac{X}{r} = \frac{x + R}{R} = \frac{50 + \left(\frac{50}{2}\right)}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 3$$

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin\theta)} = \\ &= \sqrt{(1,8^2 + (3+1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3+1) \cdot \sin 50,9^\circ)} = 2,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin\theta)} = \\ &= \sqrt{(1,8^2 + (3-1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3-1) \cdot \sin 50,9^\circ)} = 1,28 \end{aligned}$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)} = \sqrt{(1 + (3^2 - 1) \cdot \cos^2 50,9^\circ)} = 2,04$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)} = \sqrt{\left(\frac{3-1}{3+1}\right)} = 0,707$$

$$E = \frac{(a \cdot \cos\theta)}{(b - a \cdot \sin\theta)} = \frac{(1,8 \cdot \cos 50,9^\circ)}{(3 - 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)} = 0,708$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} = \sqrt{(3^2 - 1)} = 2,83$$

Nu kan synfaktorn ( $F_v$  och  $F_h$ ) beräknas

$$\pi \cdot F_v = -E \cdot \tan^{-1} D + E \cdot \left( \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{AB} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{AD}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{F \cdot \sin \theta}{C} \right) \Leftrightarrow$$

$$\begin{aligned} \pi \cdot F_v &= -0,708 \cdot \tan^{-1} 0,707 + \\ &+ 0,708 \cdot \left( \frac{1,8^2 + (3+1)^2 - 2 \cdot 3 \cdot (1 + 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)}{2,84 \cdot 1,28} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,84 \cdot 0,707}{1,28} \right) + \\ &+ \frac{\cos 50,9^\circ}{2,04} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3 - 2,83^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,83 \cdot 2,04} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{2,83 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,04} \right) \Rightarrow \\ F_v &= \frac{-0,43571 + 0,9463 \cdot 1,00327 + 0,30915 \cdot (-0,14029) + 1,0431}{\pi} = 0,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi \cdot F_h &= \tan^{-1} \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \left( \tan^{-1} \left( \frac{ab - F^2 \cdot \sin \theta}{FC} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{F \cdot \sin \theta}{C} \right) \right) \\ &- \left( \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2(b+1 + ab \cdot \sin \theta)}{AB} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{AD}{B} \right) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi \cdot F_h &= \tan^{-1} \left( \frac{1}{0,707} \right) + \frac{\sin 50,9^\circ}{2,04} \left( \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3 - 2,83^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,83 \cdot 2,04} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{2,83 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,04} \right) \right) \\ &- \left( \frac{1,8^2 + (3+1)^2 - 2(3+1 + 1,8 \cdot 3 \cdot \sin 50,9^\circ)}{2,84 \cdot 1,28} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{2,84 \cdot 0,707}{1,28} \right) \Rightarrow \\ F_h &= \frac{0,955388 + 0,380415(-0,14029 + 0,822257) - 0,78639 \cdot 1,003267}{\pi} = 0,14 \end{aligned}$$

Maximal synfaktor fås genom ekvationen:

$$F_{\max} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,48^2 + 0,14^2} = 0,50$$

## 9.5

Slutligen summeras strålningsintensiteten på 50 meters avstånd

$$q'' = \text{SEP}_{\text{act}} \cdot F_{\max} \cdot \tau_a = \text{SEP}_{\text{act}} \cdot F_{\max} \cdot \tau_a = 30 \cdot 0,50 \cdot 0,69 = 10 \text{ kW/m}^2$$

## 10 Avståndet till strålningskällan antas vara 60 meter

### 10.1

$$\begin{cases} p_w = RH \cdot p_w^{\circ} \\ RH = 0,90 \text{ (enligt Preemraff)} \\ p_w^{\circ} = 1230 \text{ Pa (vid } 10^{\circ} \text{C)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow p_w = 0,90 \cdot 1230 = 1107 \text{ Pa}$$

$$x = 60 \text{ m (avstånd från flaman)}$$

$$p_w \cdot x = 1107 \cdot 60 = 6,64 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_w = 0,29$$

### 10.2

$$p_c = 30 \text{ Pa (ungefär samma partialtryck oberoende av temperatur och luftfuktighet)}$$

$$p_c \cdot x = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_c = 0,0425$$

### 10.3

Summering av luftens transmissionsförmåga

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,29 - 0,0425 = 0,67$$

### 10.4

Bestämning av synfaktor

$$a = \frac{44,9}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 1,8$$

$$b = \frac{60 + \left(\frac{50}{2}\right)}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 3,4$$

$$A = \sqrt{(1,8^2 + (3,4 + 1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3,4 + 1) \cdot \sin 50,9^{\circ})} = 3,21$$

$$B = \sqrt{(1,8^2 + (3,4 - 1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3,4 - 1) \cdot \sin 50,9^{\circ})} = 1,51$$

$$C = \sqrt{(1 + (3,4^2 - 1) \cdot \cos^2 50,9^{\circ})} = 2,28$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{(3,4 - 1)}{(3,4 + 1)}\right)} = 0,739$$

$$E = \frac{(1,8 \cdot \cos 50,9^\circ)}{(3,4 - 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)} = 0,567$$

$$F = \sqrt{(3,4^2 - 1)} = 3,25$$

Nu kan synfaktorn ( $F_v$  och  $F_h$ ) beräknas

$$\begin{aligned} \pi \cdot F_v &= -0,567 \cdot \tan^{-1} 0,739 + \\ &+ 0,567 \cdot \left( \frac{1,8^2 + (3,4 + 1)^2 - 2 \cdot 3,4 \cdot (1 + 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)}{3,21 \cdot 1,51} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{3,21 \cdot 0,739}{1,51} \right) + \\ &+ \frac{\cos 50,9^\circ}{2,28} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3,4 - 3,25^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{3,25 \cdot 2,28} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{3,25 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,28} \right) \Rightarrow \\ F_v &= \frac{-0,360852 + 0,99948 \cdot 1,0039 + 0,276612 \cdot (-0,273283) + 0,835781}{\pi} = 0,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi \cdot F_h &= \tan^{-1} \left( \frac{1}{0,739} \right) + \frac{\sin 50,9^\circ}{2,28} \left( \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3,4 - 3,25^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{3,25 \cdot 2,28} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{3,25 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,28} \right) \right) \\ &- \left( \frac{1,8^2 + (3,4 + 1)^2 - 2(3,4 + 1 + 1,8 \cdot 3,4 \cdot \sin 50,9^\circ)}{3,21 \cdot 1,51} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{3,21 \cdot 0,739}{1,51} \right) \Rightarrow \\ F_h &= \frac{0,9343725 + 0,3403712(-0,27328276 + 0,822257) - 0,78639 \cdot 1,0039397}{\pi} = 0,11 \end{aligned}$$

$$F_{\max} = \sqrt{(0,45^2 + 0,11^2)} = 0,46$$

## 10.5

$$q'' = 30 \cdot 0,46 \cdot 0,67 = 9 \text{ kW/m}^2$$

## 11 Avståndet till strålningskällan antas vara 70 meter

### 11.1

$$\begin{cases} p_w = RH \cdot p_w^{\circ} \\ RH = 0,90 \text{ (enligt Preemraff)} \\ p_w^{\circ} = 1230 \text{ Pa (vid } 10^{\circ} \text{C)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow p_w = 0,90 \cdot 1230 = 1107 \text{ Pa}$$

$$x = 70 \text{ m (avstånd från flammen)}$$

$$p_w \cdot x = 1107 \cdot 60 = 6,64 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_w = 0,30$$

### 11.2

$$p_c = 30 \text{ Pa (ungefär samma partialtryck oberoende av temperatur och luftfuktighet)}$$

$$p_c \cdot x = 30 \cdot 70 = 2100 \text{ Pa} \cdot \text{m}$$

$$\Rightarrow \alpha_c = 0,045$$

### 11.3

Summering av luftens transmissionsförmåga

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c = 1 - 0,30 - 0,045 = 0,655$$

### 11.4

Bestämning av synfaktor

$$a = \frac{44,9}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 1,8$$

$$b = \frac{70 + \left(\frac{50}{2}\right)}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 3,8$$

$$A = \sqrt{(1,8^2 + (3,8 + 1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3,8 + 1) \cdot \sin 50,9^{\circ})} = 3,59$$

$$B = \sqrt{(1,8^2 + (3,8 - 1)^2 - 2 \cdot 1,8 \cdot (3,8 - 1) \cdot \sin 50,9^{\circ})} = 1,80$$

$$C = \sqrt{(1 + (3,8^2 - 1) \cdot \cos^2 50,9^{\circ})} = 2,52$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{3,8 - 1}{3,8 + 1}\right)} = 0,764$$

$$E = \frac{(1,8 \cdot \cos 50,9^\circ)}{(3,8 - 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)} = 0,472$$

$$F = \sqrt{(3,8^2 - 1)} = 3,67$$

Nu kan synfaktorn ( $F_v$  och  $F_h$ ) beräknas

$$\pi \cdot F_v = -0,472 \cdot \tan^{-1} 0,764 +$$

$$+ 0,472 \cdot \left( \frac{1,8^2 + (3,8 + 1)^2 - 2 \cdot 3,8 \cdot (1 + 1,8 \cdot \sin 50,9^\circ)}{3,59 \cdot 1,80} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{3,59 \cdot 0,764}{1,80} \right) +$$

$$+ \frac{\cos 50,9^\circ}{2,52} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3,8 - 3,67^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{3,67 \cdot 2,52} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{3,67 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,52} \right) \Rightarrow$$

$$F_v = \frac{-0,3079333 + 0,588991 \cdot 0,990023 + 0,2502682 \cdot (-0,37238299) + 0,8464409}{\pi} = 0,33$$

$$\pi \cdot F_h = \tan^{-1} \left( \frac{1}{0,764} \right) + \frac{\sin 50,9^\circ}{2,52} \left( \tan^{-1} \left( \frac{1,8 \cdot 3,8 - 3,67^2 \cdot \sin 50,9^\circ}{3,67 \cdot 2,52} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{3,67 \cdot \sin 50,9^\circ}{2,52} \right) \right) -$$

$$- \left( \frac{1,8^2 + (3,8 + 1)^2 - 2(3,8 + 1 + 1,8 \cdot 3,8 \cdot \sin 50,9^\circ)}{3,59 \cdot 1,80} \right) \cdot \tan^{-1} \left( \frac{3,59 \cdot 0,764}{1,80} \right) \Rightarrow$$

$$F_h = \frac{0,9183953 + 0,3079549(-0,37238299 + 0,846441) - 0,9383604 \cdot 0,990023}{\pi} = 0,043$$

$$F_{\max} = \sqrt{(0,33^2 + 0,043^2)} = 0,33$$

## 11.5

$$q'' = 30 \cdot 0,33 \cdot 0,655 = 6 \text{ kW/m}^2$$



## **12 Felkällor vid strålningsberäkningar med och utan vindpåverkan**

- Osäkerheter kring förbränningshastighet vid bränder med mycket stor yta, som är fallet i detta projekt, kan förväntas. Förbränningseffektiviteten från vätskeytan bör minska med avståndet till pölens mitt. Denna teori styrks vid granskning av figur B.1 i bilaga B. Här framgår att utgående strålning minskar med pöldiametern. I vilken grad valda beräkningsmodeller av Heskestad och Thomas tar hänsyn till detta, är okänd. Från SP i Borås gavs rådet att beräkna genomsnittlig flamhöjd utgående från dessa två modeller.
- Uppgifter kring yttre faktorer såsom vind, temperatur och luftfuktighet bygger på årsmedelvärden. Extrema vädersituationer inverkar på beräkningsresultaten.
- Ämnesspecifika uppgifter har i flera fall erhållits som intervall. I dessa fall har konservativa värden i intervallet valts och använts för att beräkna strålning, det vill säga värden som resulterar i de högsta strålningsnivåerna på ett visst avstånd från branden.
- Metoden att approximera 53- områdets invallning till en pöl med en diameter på 50 meter är en förenkling i syfte att underlätta beräkningarna och speglar naturligtvis inte verkligheten. En realistisk brand skulle sannolikt resultera i allvarigare konsekvenser då dess yta mer än väl överträffar ytan som den antagna pölen upptar, se figur 4:1.
- Beräkningarna och tillhörande resultat bygger på en obetydlig fyllnadsgrad av 53- områdets invallning. Vid beräkningar av flamhöjden för de olika ämnena har 6 meter dragits bort då detta motsvarar invallningens djup. Vid en större fyllnadsgrad skulle flamhöjden öka och strålningsintensiteten mot en punkt på ett visst avstånd likaså.
- Hänsyn har inte tagits till att befintliga cisterner i invallningen eventuellt kan utgöra skymmande hinder för strålningen mot omgivningen, om läckaget endast upptar en viss del av invallningen.
- Flamhöjder som beräknas utgör inte maximala värden utan genomsnittliga. För beskådaren kan en flamma tyckas lägre än vad den egentligen är. Faktum är dock att sotpartiklar i brandgaserna ovanför flammorna också avger värmestrålning och innefattas i definitionen flamhöjd som beräknas.

## **BILAGA D - Kontroll av invallning mot SIND-FS 1981:2, 3**

Sprängämnesinspektionens regler från dåvarande SIND (Statens Industriverk) gällde då cisternområdet byggdes. Här kontrolleras att invallningen på 53-området uppfyller de krav som finns angivna i SIND-FS 1981:2 – kap 3.17

**A\*** \_

ok

**B**

hela största cisternen ska rymmas i invallningen:

$$15000 < 57900 \Rightarrow ok$$

En tiondel av den sammanlagda cisternvolymen skall rymmas i invallningen, mm...

0,10(hela största cisternen + resterande cisterners volym över invallningens övre kant (6 m))

$$0,10(15000 + 7000 + 10500 + 10500 + 2063 + 1500*4 + 1250) = 6281 \text{ m}^3 < 57900 \text{ m}^3$$

**C**

¾ av den sammanlagda cisternvolymen skall rymmas:

$$0,75(3000+2000+3000+3300+3000+3000+15000+15000+10000+15000) = 54225 \text{ m}^3 < 57900 \text{ m}^3 ok!$$

**E**

Bortskaffande av regnvatten – rörledning från invallningens lägsta punkt, ventil utanför vallen som ska vara stängd då utpumpning inte pågår.

### **Slutsats**

Invallningen uppfyller kraven!

## BILAGA E - Strålningsförsök mot brandslang

### Utförande

Tid och platser för utförandet av experimenten var Räddningsverkets skola i Revinge den 18:e oktober 2006 och utanför Brandtekniks laboratorium i Lund den 19:e oktober 2006. Under experimenten på Revinge hjälpte Stefan Svensson till, vilket var en viktig förutsättning för ett lyckat utförande. Från början var det tänkt att alla försök skulle äga rum på Revinge men tiden visade sig inte räckta till för experiment med tomma slangprov varpå dessa utfördes utanför Brandtekniks laboratorium dagen efter. De två slangmodellerna utsattes för värmestrålning på 10, 20 och 30 kW/m<sup>2</sup>.

### Experimentuppställning för fylld slang och slang med flöde



Figur E:1 Experimentuppställning på SRV Revinge

Från en brandpost drogs grovslang till ett grenrör i containern. Strax efter brandposten på denna slang kopplades en tryck- och flödesmätare i syfte att mäta flöde och tryck vid de försök som detta skulle bli aktuellt. Till grenröret i containern kopplades en kort förlängningsslang på vilken i sin tur själva slangprovet anslöts, se figur E:1. Från andra änden av slangprovet i containern drogs ytterligare en slang till en kyrka ute på ett fält bredvid containern. Detta möjliggjorde att flödet kunde regleras beroende på vilket försök som skulle utföras.

Slangprovet placerades över ett bord framför gasolbrännaren. Därefter justerades brännarens avstånd till slangen tills den från början bestämda strålningsnivån erhöles mot slangytan. Strålningsmätningen utfördes via ett hål i en bit fuktad spånskiva. Anledningen till att en spånskiva användes var att skydda slangen under mätproceduren innan själva försöket startade. Skivan fungerade i viss mån även som skydd för den person som utförde mätningen.

Från ett mätinstrument i bilen bredvid containern drogs kablar med termoelement. Dessa fästes mitt i, på vardera sida samt på utsidan av slangprovet, se figur E:2. Mätvärden loggades i en bärbar dator placerad i bilen strax bredvid containern och kunde kontinuerligt avläsas allt eftersom försöket fortskred.



*Figur E:2. Experimentuppställning som visar termoelementens placering*

Efter att strålningen bestämts och spånskivan tagits bort startades tiden. Därefter studerades förändringar av termoelementens mätvärden samt hur slangytans utseende påverkades under exponeringen. Målet under försöken var att låta experimentet fortgå till dess att slangen förstördes och ett betydande hål uppstod. Längden på exponeringstiden varierades beroende på hur försöket utvecklade sig. Som exempel kan nämnas att vid de försök där inget hål uppstod föreföll ytemperaturen på slangprovet stabiliseras kring ett visst värde, och i syfte att spara tid inför efterföljande försök avbröts dessa försök. För de försök där temperaturstegringen inte planade ut fortgick exponeringen till dess slangen brast. Försöksuppställningen fotograferades och experimenten filmades.

## Experimentuppställning för tom slang

Experimentuppställningen för värmestrålning mot tom slang påminner om den för fylld och den för flöde i slangen, se figur E:3. Mätproceduren gick till på samma sätt. Svårigheten vid dessa försök blev hur slangens förändring i hållfasthet skulle avgöras. Då slangen var vattenfylld avslöjades ett hål med all önskvärd tydlighet. Nu blev granskningen av ytan desto viktigare för att avslöja eventuella förändringar i materialet, som tyvärr inte kunde testas fullt ut med provtryckning efteråt. Försöken fick fortgå tills slangen bokstavligen smälte alternativt med lätthet antändes med pilotlåga. I detta skede stoppades tiden.



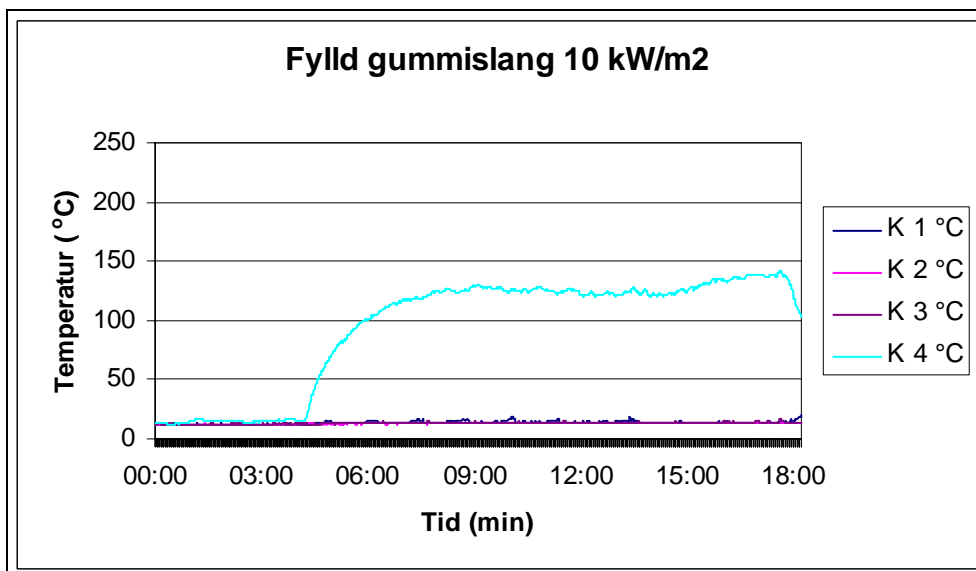
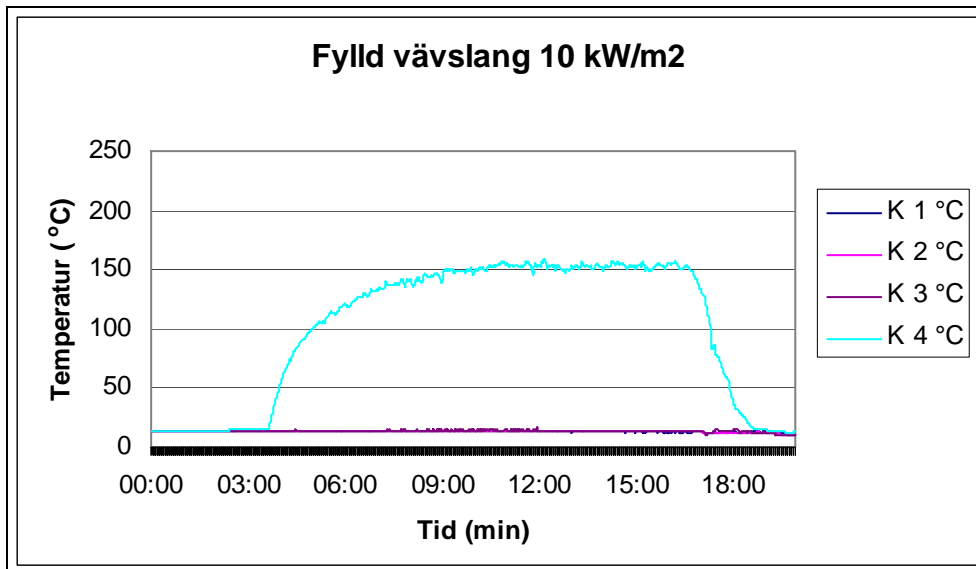
*Figur E:3 Experimentuppställning för tom slang*

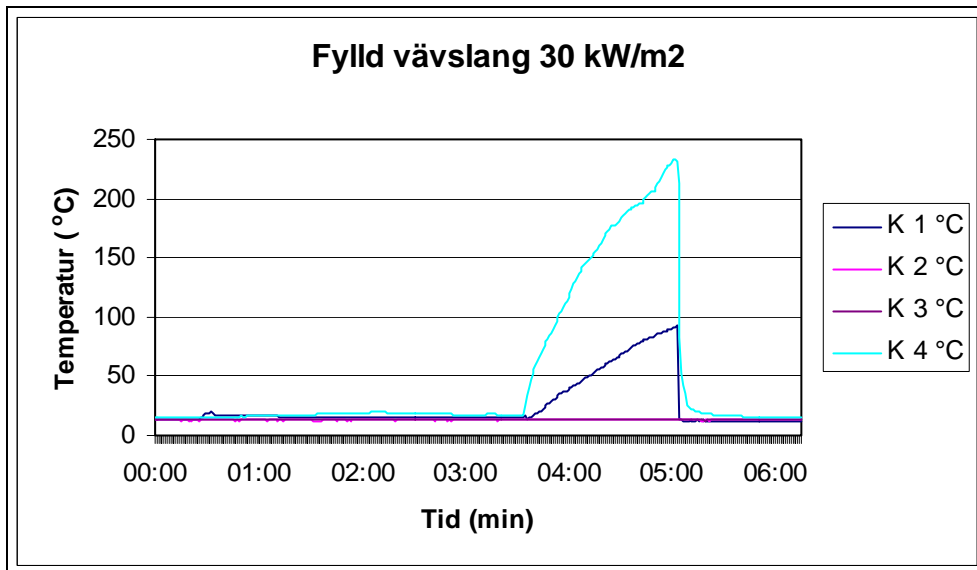
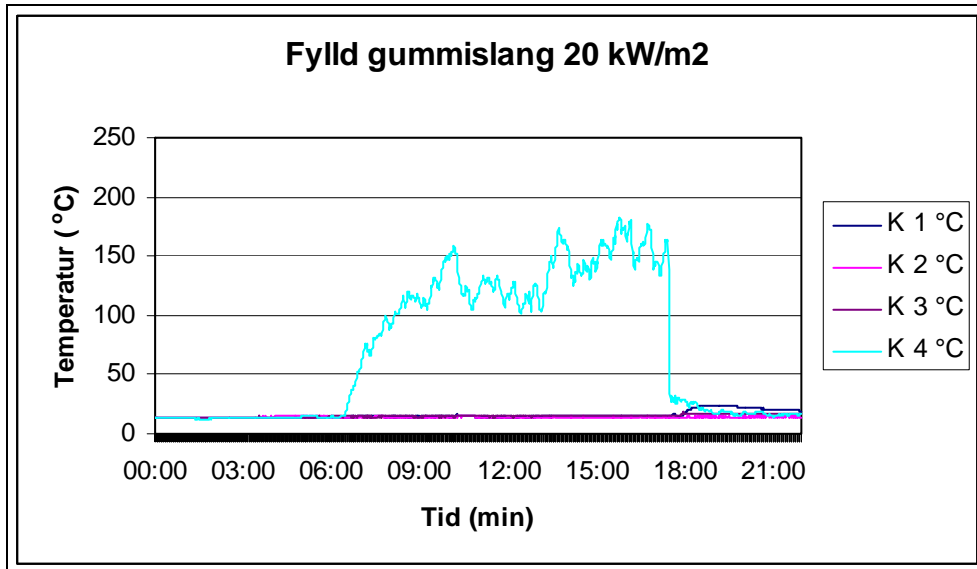
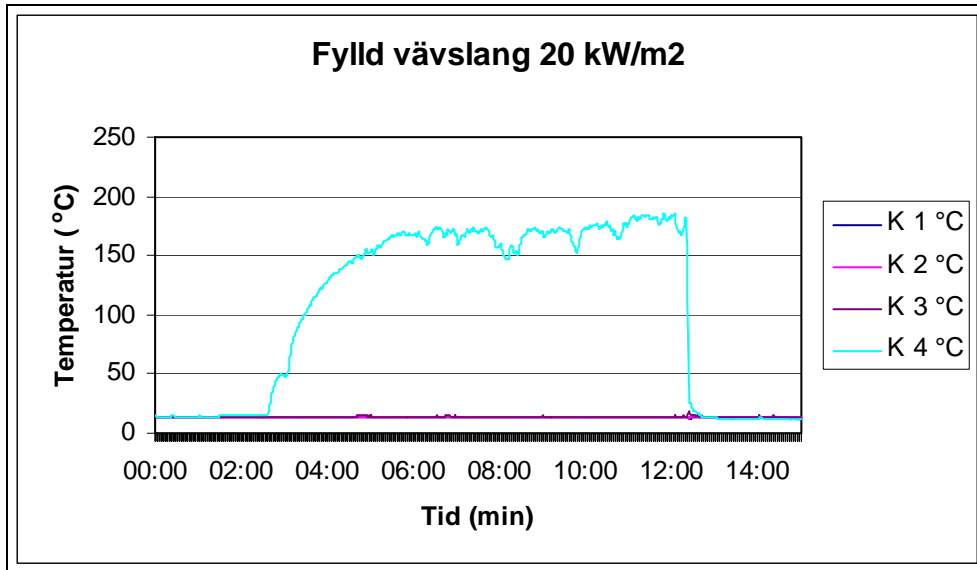
För de tomma slangproven studerades materialets motståndskraft vid de ovan nämnda strålningsnivåerna under varierande exponeringstider. I dessa försök fanns givetvis inget vatten och därmed ingen kylande effekt som skydd för slangmaterialet inifrån. Tyvärr fanns det vid dessa försök ingen möjlighet att studera temperaturökningen på slangens yta då inga termoelement fanns tillgängliga. Försöken begränsades därmed till att endast granska, filma och fotografera slangytans utseendeförändring med tiden.

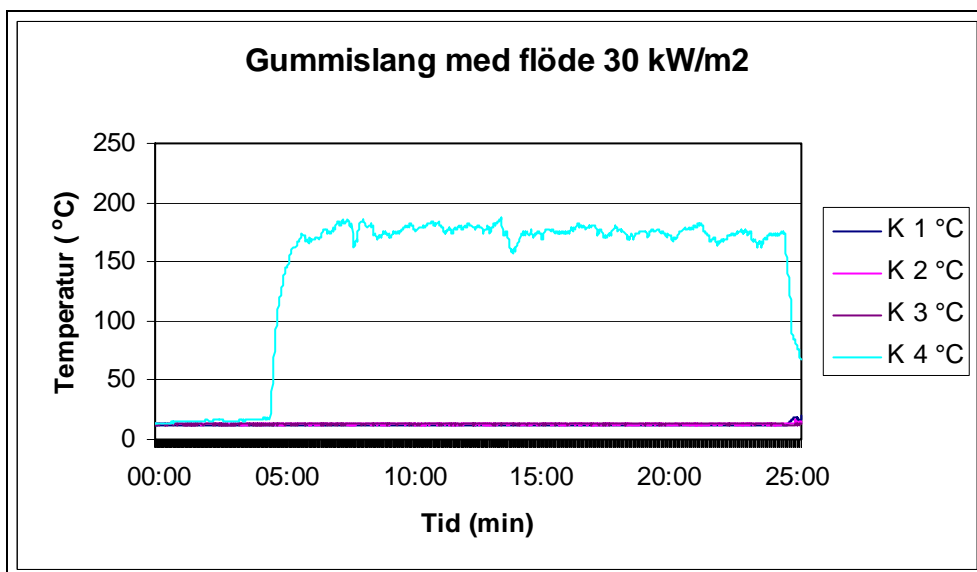
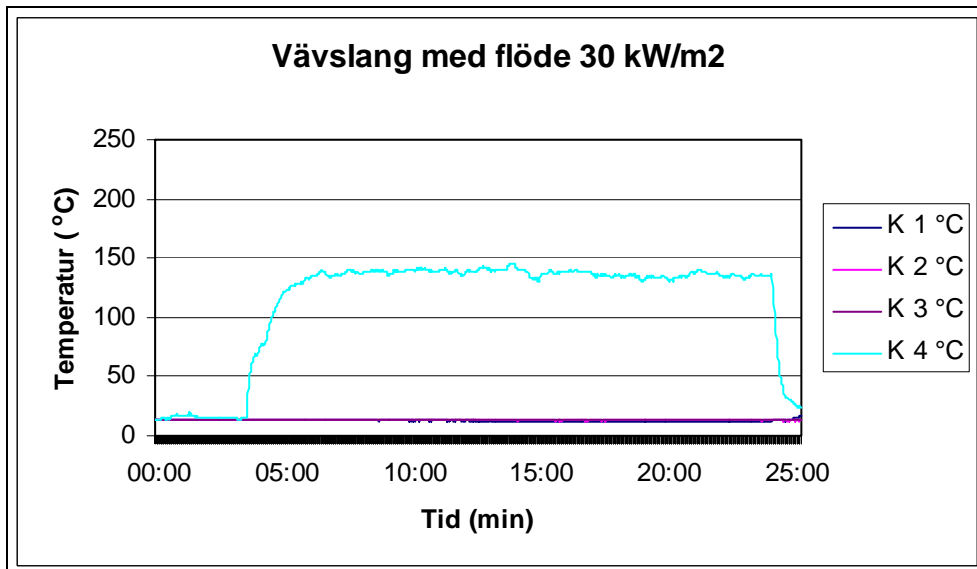
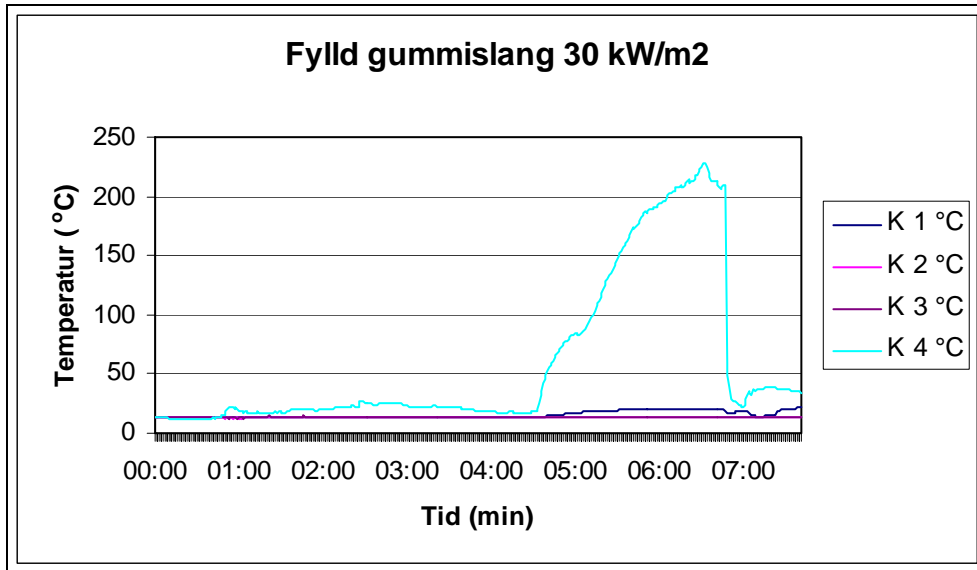
## Experimentdata

Mätdata redovisas i diagram från termoelementen (K1, K2, K3 och K4) under experiment med fylld slang och slang med flöde i. Termoelementens placering:

- K1 mäter vattnets temperatur i slangen mitt framför radiatorn
- K2 mäter temperatur i det ingående vattnet
- K3 mäter temperatur i det utgående vattnet
- K4 mäter temperatur på slangens yta, mitt framför radiatorn.









## **Felkällor vid försök**

<b>Tryckvariationer</b>	Vid försök med fylld slang var tanken att trycket skulle hållas konstant. Detta blev dock svårt att åstadkomma i praktiken, eftersom trycket i brandpostnätet regleras stötvis av en pump. Många enheter övade på SRV:s område den dagen vilket troligtvis orsakade de stora tryckförändringar som registrerades. Tryckvariationerna var påtagliga och låg i intervallet 5- 9 bar.
<b>Flödesvariationer</b>	Med det varierande trycket i brandpostnätet blev även flödet en faktor som varierade. Vid de försök i vilka ett konstant flöde skulle upprätthållas blev problemen en direkt följd av tryckvariationen. Flödet varierade mellan 110-170 l/min.
<b>Metod för strålningsmätning</b>	Metoden att mäta strålning mot brandslang var osäker. Den stora svårigheten visade sig bli att utföra mätningen så att den verkliga angav den exakta strålning som nådde brandslangens yta mitt framför radiatoren. För samtliga försök krävdes att radiatoren tilläts komma upp i en jämn, stabil temperatur som medförde konstant värmestrålning mot brandslangen. Temperaturen med tillhörande värmestrålning antogs följaktligen inte momentant, utan blev en bedömningsfråga under radiatorns uppvärmningsfas. Metoden för strålningsmätning förfinades något från första till sista försök. Kontrollmätningar utfördes efterhand även under försökens gång, vilket inte var fallet i början. Stefan Svensson kom med förslaget att göra ett hål i spånskivans mitt i syfte att underlätta mätningen. Dessutom lät han blöta ytan på skivan kontinuerligt sedan den oroväckande snabbt värmts upp vid höga strålningsintensiteter. Detta medförde att personen som utförde mätningen gavs möjlighet att hålla kvar instrumentet under längre tid, även vid höga strålningsnivåer. Åtgärden förbättrade chansen att kontrollera att rätt strålning åstadkommits mot slang. Med tanke på att denna förbättring skedde av mätmetoden kan resultaten från de inledande försöken anses bygga på något osäkra strålningsnivåer.
<b>Slangkvalitet</b>	Efter att det konstaterats att både vävslang och gummislang brast efter ca 10 minuters exponering vid 20 kW/m <sup>2</sup> utfördes ytterligare ett försök vid denna strålningsintensitet. Det märkliga var att den vävslang som valdes för försöket inte brast, trots att exponeringen pågick under 30 minuter. Kontrollmätningar utfördes under pågående försök med stor försiktighet, på grund av vävslangens oberäknliga bristningsförlopp. Någon avvikande strålningsintensitet kunde dock inte fastslås. Förklaringen kan vara att kvaliteten på slang varierat alternativt att ett svagt flöde uppstått och inte upptäckts.
<b>Hållfasthet</b>	För de försök som genomfördes med tomma slangprov tillkom problemet i att bedöma när kvaliteten på brandslangen försämrats så mycket att den inte längre kan anses användbar. Vid försöken genomfördes en noggrann dokumentering och granskning av brandslangsytan allteftersom exponeringen fortgick. Tiden stoppades då slangmaterialet började smälta. En begränsning var att vi efter varje test inte provtryckte slangens för att upptäcka eventuell försämring.
<b>Mätinstrumentens tillförlitlighet</b>	Vad beträffar termoelementen kan en viss felprocent förväntas. Särskilt gäller detta för termoelementet som fästes på slangytan då en viss osäkerhet ligger i huruvida temperaturen i det överensstämmer med temperaturen på själva slangytan. Angående strålningsmätaren förväntas dess trovärdighet vara god då Sven- Ingvar Granemark lät kalibrera den före försöken.
<b>Yttre faktorer</b>	Då försöken på Revinge utfördes i en container kan yttre faktorer såsom vind och temperatur anses försumbara.

## BILAGA F – Pumpkurva och indata till PFS

### *Indata*

begin	Anger var beräkningen börjar
flow l/min	Enhet för flöde
Pressure bar	Enhet för tryck
Control den=1000 duct=10 C=120	Beskrivning av vattnets strömningsegenskaper
Pump B1	Beskrivning av elektrisk pump
Pump B2	Beskrivning av dieseldriven pump

Följande uttryck beskriver rördimensioner, flöde och tryck:

```
set p1= d , 200 , 50
set p2= d , 200 , 25
set p3= d , 200 , 10
set p4= d , 300 , 50
set p5= d , 100 , 3
set bps= h?0 : q
set bpq= h?6000 : q
set bpp= h , - 5 : hq
set bpm= t , 8 , 6000 : hq
set p6= d , 300 , 500
set p7= d , 300 , 20
set p8= d , 76 , 25 "grovslang 25 meter lång?"
set p9= d , 100 , 1
```

# Pumpkurva

