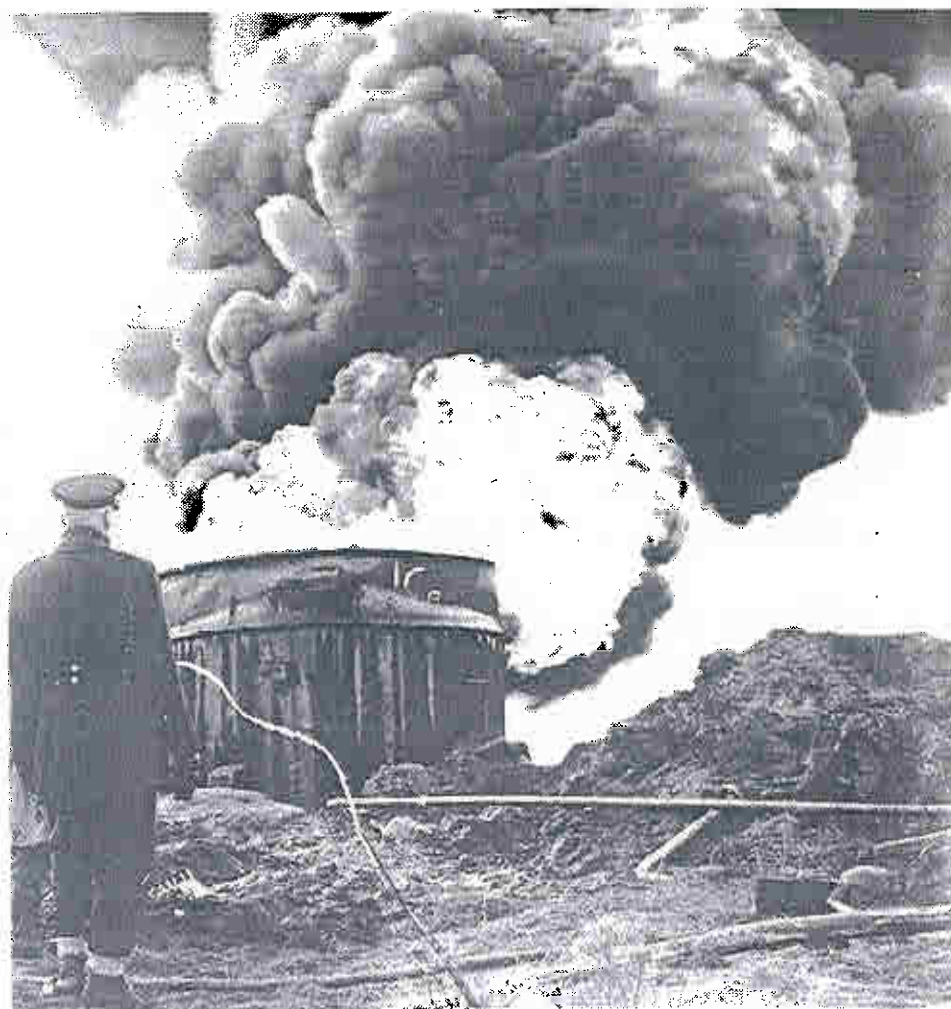




HETZONSBILDNING vid brand i oljor

Rapport över inträffade olyckor, utförda försök och internationella erfarenheter. Rekommendationer till räddningstjänstorganisationen.



Cirkulär om fastställlesidan i cirkulärserien

fastställd den 25 november 1988

På många håll i världen och även i vårt land har olyckor inträffat i samband med hetzonsbildning vid brand i oljor, varvid släckpersonalen utsatts för stora risker. Räddningsverket har därför bedömt att en redogörelse för problematiken bör sammanställas och delges landets räddningsstyrkor. Erfarenheter från inträffade större oljebränder visar nämligen att släckstyrkorna ofta saknar erforderlig kännedom om de risker fenomenet medför och att det från arbetarskyddssynpunkt är angeläget att kunskapen på detta område förbättras.

Det kan kanske synas vara väl sent att nu publicera en mera ingående redogörelse för över 25 år sedan påbörjade försök och diskussioner, men det har visat sig, att särskilt problemen vid hetzonsbildning ("boil-over" och "slop-over") fortfarande har hög aktualitet och är internationellt uppmärksammade. En annan faktor är svårigheten att numera, med hänsyn till miljöaspekterna, kunna anordna släckningsförsök i större skala, särskilt där lång brinntid erfordras med därvid följande stor rökutveckling. Det är därför nödvändigt att grundligt penetrera redan utförda försök och dra slutsatser av dessa. Vid inträffade oljebränder ute i världen har det ofta visat sig att släckinsatsen lyckats mindre bra eller helt misslyckats därför att de inblandade icke haft nöjaktig kännedom om oljebrandens mekanik och olika oljors uppträdande vid långvarig brand.

Redogörelsen har sammanställts av förre-brandchefen i Göteborg Karl-Ejnar Nilsson och bygger till stor del på de studier och omfattande försök, som i början av 1960-talet genomfördes i samarbete mellan Göteborgs brandförsvär, Koppartrans Raffinaderi (numera Shell Raffinaderi AB), Svenska Petroleuminstitutet och Svenska Skumsläckningsaktiebolaget.

Under arbetet med redogörelsen har kontakt hållits med Brandforsk och Statens provningsanstalt samt med forskare i Tyskland.

Ett särskilt tack riktas till Shell Raffinaderi AB i Göteborg, som medgivit att rapporten över där utförda försök får användas i sammanhanget.

Statens räddningsverk

Nils Olof Sandberg

Bertil Wildt-Persson

INNEHÅLL

Förord	1
Sammanfattning	3
Bakgrund	4
Inträffade större olyckor med överkokningsfenomen	5-6
Oljebrandsläckningsförsök i Göteborg	7-19
Hetzonsbildning - teori	19-26
Rekommendationer till släckpersonalen vid brand i hetzonsbildande olja	27

SAMMANFATTNING

Vid mera långvariga bränder i oljor, särskilt vid cisternbränder, finns risk för häftiga fenomen i form av uppkast och momentan förbränning av olja, orsakade av kontakten mellan en i oljan nedåt vandrande "hetzon" ("värmezon", "hetvåg") och i oljan eller på cisternbotten befintligt vatten, som plötsligt förångas. Beroende på uppkastets omfattning och häftighet talar man om "slop-over" respektive "boil-over". Vi har valt att i fortsättningen kalla fenomenet "överkokning".

Vid brand i oljeprodukter absorberas en stor del av värmestrålningen från flammen av oljeytan och en värmezon bildas. I denna zon bestäms medeltemperaturen huvudsakligen av produktens kokpunkt. I produkter med en bestämd kokpunkt (s k rena produkter t ex bensen eller toluen) är värmezonen liten och i princip försumbar. I produkter innehållande komponenter med skilda kokpunkter utbildas värmezonen till en s k "hetzon", som utbreder sig nedåt i oljan med en någorlunda konstant hastighet om den ej störs av strömningar i vätskan (genom omrörning, luftinblåsning o d). En "hetzon" kan utbreda sig med en hastighet som varierar mellan 25 och 75 cm per timme, beroende på typ av produkt och är störst i råolja (crude-oil).

I produkter där hetzon bildas med en medeltemperatur över vattnets kokpunkt (exempelvis råolja och eldningsolja) finns stor risk för uppkast eller överkokning (slop-over, boil-over) av brinnande olja när hetzonen når vattenskikt eller cisternbotten.

Ett släckangrepp då hetzonsbildningen börjat ger i allmänhet en översjudning- "slop-over" - av brinnande produkt. Vid botteninföring av skum kan en kraftig överkokning inträffa när en djup hetzon bildats.

Hetzon som bildas i bensin når sällan temperatur över vattnets kokpunkt. Vid mer än 30 minuters brand i råolja och eldningsolja men även i blandningar av lättare oljor (reabränsle) finns alltid risk för hetzonsbildning. Kan skuminföring i cistern med brinnande råolja eller brandfarlig vara klass 3 (mörka oljor) men även i vissa fall blandningar av ljusare oljor ej påbörjas innan hetzonen hunnit utbreda sig måste denna först utarmas. Hetzon över 100°C kan lokaliseras med en vattenstråle på cisternmanteln.

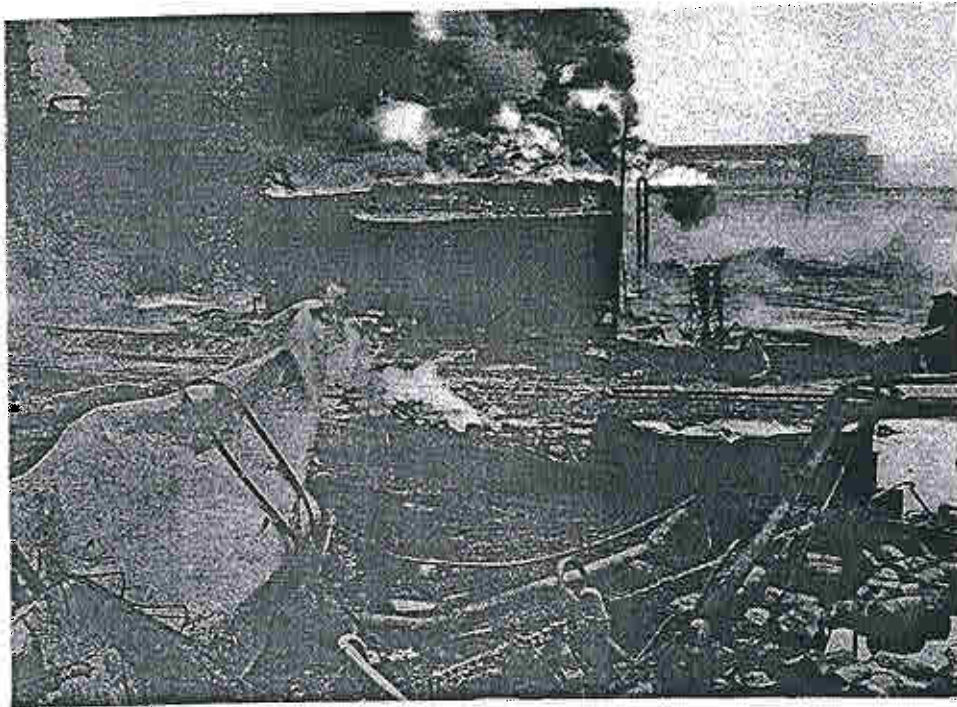
Inom första timmen efter brandutbrottet kan vid hög fyllnadsgrad i cisternen utarmning och sänkning av temperaturen på hetzonen ske genom omrörning som blandar den kallare oljan i cisternens nedre del med det varmare ytskiktet. Omrörning kan ske med befintlig installation i cisternen eller med luftinblåsning. I ett senare skede av branden bidrar luftinblåsning enbart till hetzonens utbredning och ökar risken för överkokning.

BAKGRUND

Det är ett känt faktum att vid större och mera långvariga bränder i oljedepåer och raffinaderier uppträder ett fenomen - överkokning - som ofta kommit överraskande och som medfört stora risker för den insatta släckpersonalen. Speciellt i mörka oljor med brett destillationsintervall utbildas en "hetzon", "hetvåg", som vandrar ned i oljan och som så småningom kommer i kontakt med i oljan befintligt vatten, oftast samlat på cisternens botten eller som tillföres genom skuminsats. Det heta oljans värme förångar momentant vattnet, som därvid utvidgar sin volym 1 700 gånger. Ångan kastar med stor kraft ut all olja som befinner sig ovanför. Utkastad olja brinner upp i luften eller i invallningen och vid stark vind även på ett stort markområde i vindriktningen. Vid överkokning måste ibland slangar och annan utrustning överges och personalen utrymmas skyndsamt.

Ett motsvarande fenomen, fast i liten skala, uppstår när man försöker att med vatten släcka brand i en flottyrgräta eller felaktigt uppvärmd stearin vid ljusstöpning. I till allmänheten riktad upplysning varnas alltid för denna brandrisk i hemmet.

I ett senare kapitel redogöres närmare för teorin kring hetzonsbildning.



INTRÄFFADE STÖRRE OLYCKOR MED ÖVERKOKNINGSFENOMEN

Shell Raffinaderi Pernis, Holland

Häftig överskumning i en sloptank följdes av en luftexplosion som övertände ett stort område med många cisterner.

Signal Hill, USA

Överskumning i en sloptank utlöste en brand som varade i flera dagar. Skildras i en film från Esso.

Trieste, Italien

Boil-over i en råoljetank skadade 14 brandmän.

Caracas, Venezuela

19 december 1982. Kraftverk i Tocoa nära Venezuelas huvudstad Caracas. Cistern med diameter c:a 60 m, höjd c:a 20 m, volym c:a 50 000 m³ innehållande c:a 20 000 m³ eldningsolja. Tre observatörer avsåg att mäta nivån i tanken och utlöste därvid en explosion. Orsaken obekant (måttband som orsakade tändande gnista vid potentialutjämning?). Oljan antändes. I "sumpen" fanns vatten. Efter 6 timmar inträffade en "boil-over" med ett eldklot 450 m högt och en yta om 600 x 300 m. Upp till 500 m avstånd uppstod ett "eldregn" och "hot spots", heta eldbollar, fördes med vinden 3 000 m bort. Det uppstod också en "running fire", dvs att brinnande vätska spred sig över ett stort område. 150 personer dödades, varav minst 30 brandmän och 8 journalister. Tusentals innevånare fick evakueras och Caracas förklarades som katastrofområde. 300 personer skadades och den materiella förlusten uppgick till 60 -70 miljoner DM.

Milford Haven (Amoco), Storbritannien

30 augusti 1983 utbröt den största cisternbranden sedan 2:a världskriget i Milford Haven. Tanken innehöll 46 000 ton crude-oil. Brandförsvaret försökte att först begränsa och sedan släcka branden med hjälp av skum och vatten. Man började också att pumpa ut olja från den brinnande och två högre belägna tankar. Efter 12,5 timmar inträffade en "slop-over" som efter en halvtimme följdes av en häftig "boil-over".

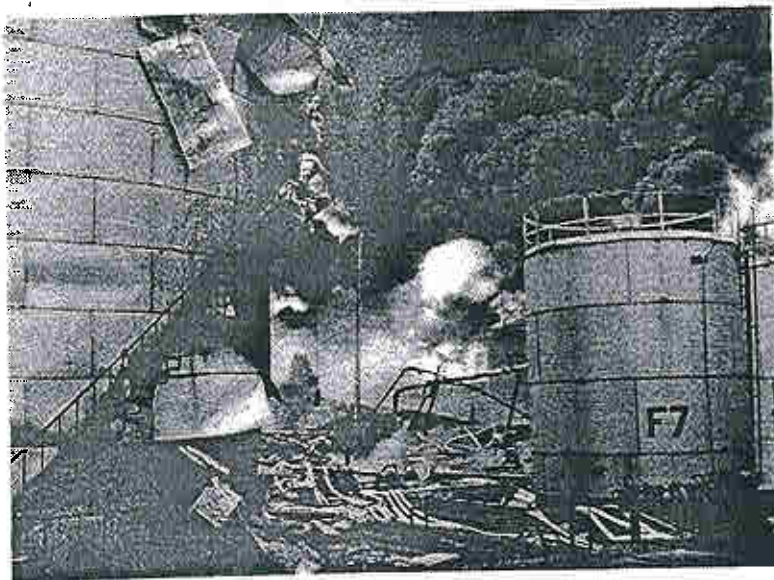
Branden bredde ut sig på en yta av 1,6 hektar och de vita flammorna nådde en höjd av 900 m. Genom den oerhörda hettan smälte slangarna så att stora luckor i vattenförsörjningen uppstod.

En stor del av cisternen smälte eller brast. I omgivningen uppstod flera mindre cisternbränder. Nästa boil-over inträffade 15 timmar efter brandens början. 40 brandmän skadades. Isoleringen på de båda granntankarna tog eld genom den starka strålvärmen trots att man försökte avskärma den med vattenridåer. Genom det undertryck som uppstod vid kylning av tankarna blev en skadad till 30% och en annan till 50%. Inom fem timmar efter den andra boil-overn inträffade flera mindre överkokningar.

Nära 60 timmar efter brandutbrottet kunde man meddela att branden var slutgiltigt släckt. Då hade ungefär 25 000 ton råolja brunnit upp och hela cisternen med rörledningar och armatur var svårt skadad genom brand och instörtade delar.

Nynäshamn 1956

Crudetank rämnade nedifrån och upp i stark kyla. Cisterndata: diameter 32 m, höjd 13 m. Cisternen var fylld med 12 000 m³ arabisk råolja som antändes och rann ut i och över invallningen och in på raffinaderiområdet. I den utrunna och brinnande oljan uppkom periodiska överkokningar. Dessa var mycket häftiga och återkom med c:a 15 minuters mellanrum. Härigenom försvarades och försenades släckningsarbetet i mycket hög grad då det tidvis blev nödvändigt att dra tillbaka släckpersonalen.



Raffinaderibranden i Pernis, Holland

OLJEBRANDSLÄCKNINGSFÖRSÖK I GÖTEBORG

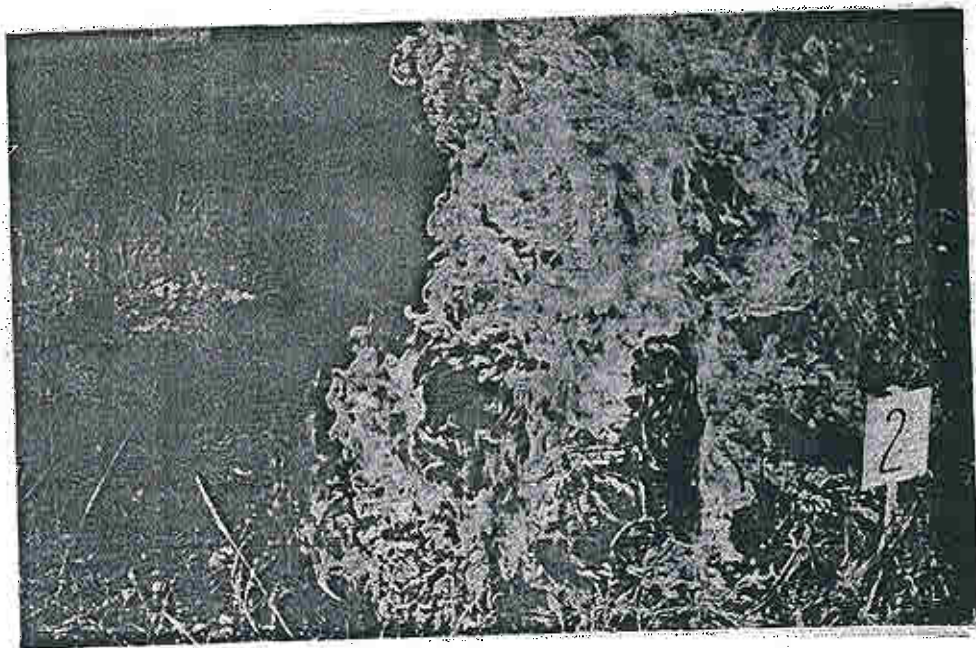
Vid Göteborgs brandförsvär har i samarbete med stadens raffinaderier, petroleuminstitutet och brandredskaps- och skumvätsketillverkare under 1960- och 1970-talen genomförts omfattande och till stor del epokgörande oljebrandsläckningsförsök. Av olika anledningar har flera av försöken inte blivit sammanställda eller publicerade i fackpressen. Ett undantag utgör filmen "Hetzon", som torde vara väl bekant inom fackkretsar.

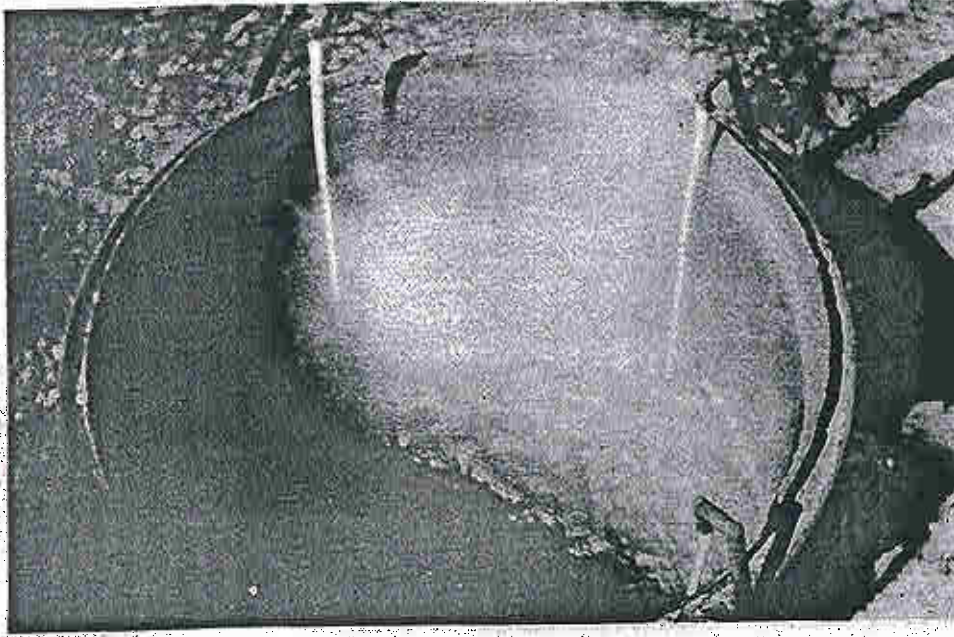
Förförsök

De fåtaliga försök inom området, som utförts i andra länder, har genomgående gällt råolja (crude-oil) och skett i liten skala. Göteborgsförsöken inriktades på att testa olika typer av mineraloljor och med olika släckmetoder applicerade efter lång brinntid.

För att få en första bild av problemet eldade man olja i halva bensinfat på en brandstation och släckning skedde efter 20 - 25 minuters brinntid med skalenlig släckutrustning enligt de vanliga metoderna: "över topp", "botteninföring" (sub-surface) och "uppflytande slang" (semi-subsurface).

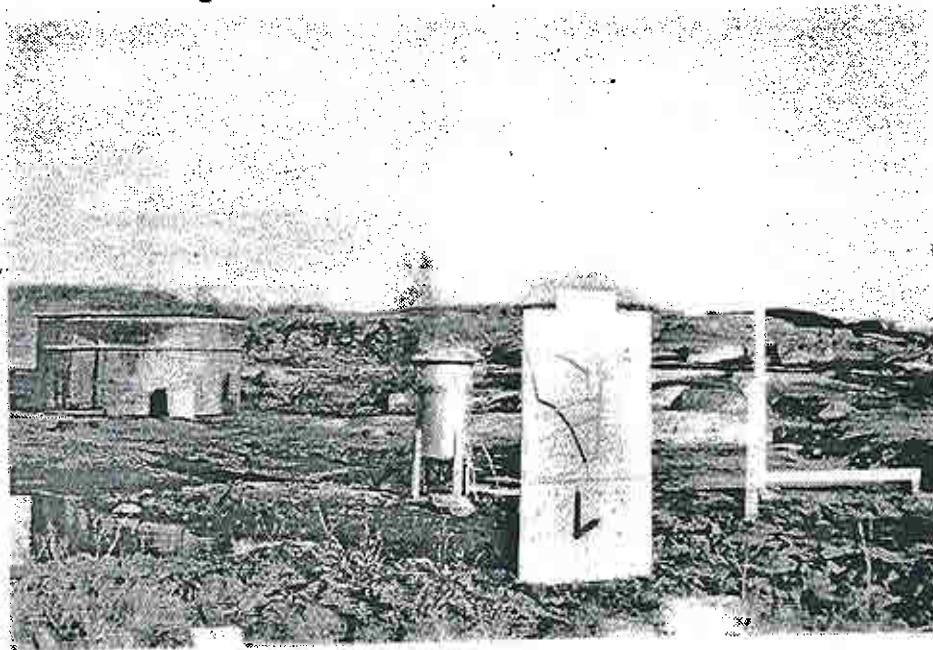
Resultaten var mycket övertygande och inbjöd till fortsättning i större skala. Försöken kan naturligtvis upprepas på platser där större oljebrandrisker föreligger och man har tillgång till övningsplats.





Modellförsök

Under hösten 1959 utfördes vid dåvarande Koppartrans Raffinaderi (numera Shell) i Göteborg under ledning av laboratoriechefen, civilingenjör Agne Nilsson och ingenjör Karl-Erik Juter en synnerligen intressant studie rörande hetvågors uppkomst i olika oljor och den därpå grundade rapporten "Undersökning med speciell hänsyn till uppkomsten och utvecklingen av hetvågor vid brand i petroleumprodukter" måste betraktas som internationellt epokgörande när det gäller boil-overfenomenets teori. Till skillnad mot tidigare allmänt accepterade resonemang kunde man här bland annat visa att hetzoner bildas även i ljusare oljor med smalt destillationsområde. Genom välvilligt tillmötesgående av Shell Raffinaderi AB i Göteborg får materialet disponeras i denna redogörelse.



Försöksanordning vid den grundläggande studien

Försökens utförande

Olja fick brinna i ett specialtillverkat kraftigt kärl rymmande 200 liter med ett observationsfönster och utan släckinsats så länge att överkokning inträffade eller att branden i vissa fall själv-slocknade. Kärlet var försett med 12 termoelement anslutna till en mätstation, vätskeståndsror och en mikrofon kopplad till en högtalare vid mätstationen.

Vatten påfylldes så att ytan låg mellan termoelementen 8 - 11, varvid 11 hamnade i vattenfasen. Sedan påfylldes invägd mängd olja och avståndet till kärlets kant inmättes.

Oljan tändes, om nödvändigt med hjälp av lättbensin. Kontinuerlig temperaturmätning skedde. Prov togs före och under försöket. Nivån avlästes och branden fotograferades med jämna mellanrum. Väderlek noterades. Proven och mätvärdena bearbetades på laboratoriet.

Försök 1

Betraktas som förförsök. Kuwait råolja. 198 l sattes in. Överkokning kom efter 4 h 20 min. Synnerligen våldsamt. Uppkastet var 20 m högt. 85 l olja kastades upp av 3 l vatten. Endast smärre mängder hamnade på marken.

Försök 2

Agha Jari råolja. Vid överkokningen utkastades 82,6 l av 3 l vatten. Hetzon mellan 150 och 180°C. Den ebbade ut men följdes av en ny våg med temperatur mellan 200 och 400°C. Djup 250 mm. Överkokning som i försök 1. Högtalare av stort värde.

Försök 3

Agha Jari råolja. Förloppet ganska likt försök 2. Några minuter före överkokningen gav termoelementet långt nere i vattenfasen ett utslag motsvarande temperaturen i hetzonen. Det konstaterades att temperaturhöjningen skett genom att en "oljeklump" sjunkit genom vattenfasen och lagt sig på kärlets botten. Detta förklarar uppkomsten av s k "pikar", dvs nedåtgående spjutformiga hetzoner, som bryter sig ur den normala hetzonen.

Försök 4

Tungfotogen (Agha Jari). Efter 3 h hetzon. Ojämn förbränning. Kraftiga uppkast i slutskedet under c:a 20 min till 4 m höjd. Den förbrukade vattenmängden var obetydlig men vattnet synes ha påverkat förbränningen mot ett våldsammare förlopp. Högtalaren gav tydligt utslag innan förloppet blev häftigt.

Försök 5

Råbensin (Agha Jari). Hetzon motsvarande råolja men med lägre temperatur. Slocknade sedan hela mängden brunnit upp.

Försök 6

Lättbensin (Agha Jari). 2 hetzoner: 60 respektive 90°C. Slocknade sedan hela mängden brunnit upp.

Försök 7

Lättfotogen (Agha Jari). Hetzon snarlik försök 4. Självslocknade efter 5 timmar. Troligt att vattenångan som bildades av hetzonen bidrog till att förkorta branden.

Försök 8

Tungbensin (Agha Jari). Försöket liknade försök 4 och 7. Ingen överkokning. Hela mängden brann upp.

Försök 9

MC 77 (reabensin). 2 hetzoner liknande försök 2, 3, 5 och 6. Starkt ljud i högtalaren. Vattenånga kvävde branden men det var mycket nära överkokning. Avviker mycket från beteendet hos de i MC 77 ingående råprodukterna lättbensin, tungbensin och lättfotogen. Brinntid 10 tim.

Försök 10

Diesel (Agha Jari). Produkten förvärmades till 50°C och tändes med lättbensin. Efter 2 h hetzon. Avslutningen våldsamt i betraktande av den tunna hetzonen. Högtalarljudd och 4 m höga lågor. Kylades snabbt av vattnet och kvävdes.

Försök 11

Toluen. Svag hetzon. Ingen överkokning.

Försök 12

$\frac{1}{2}$ TB - $\frac{1}{2}$ LF. Större hetzon än vid försök 7 och 8. Intensiv avslutningsfas men vattenångan kylde. Överkokning kunde väntas.

Försök 13

Återstodsolja. Högtalarbrus. Nära överkokning men dämpning av vattenångan.

Försök 14

$\frac{1}{2}$ TB + $\frac{1}{2}$ diesel. Andra hetvågen efter 4,5 h. Högtalarbrus. Överkokning men relativt stor rest.

Försök 15

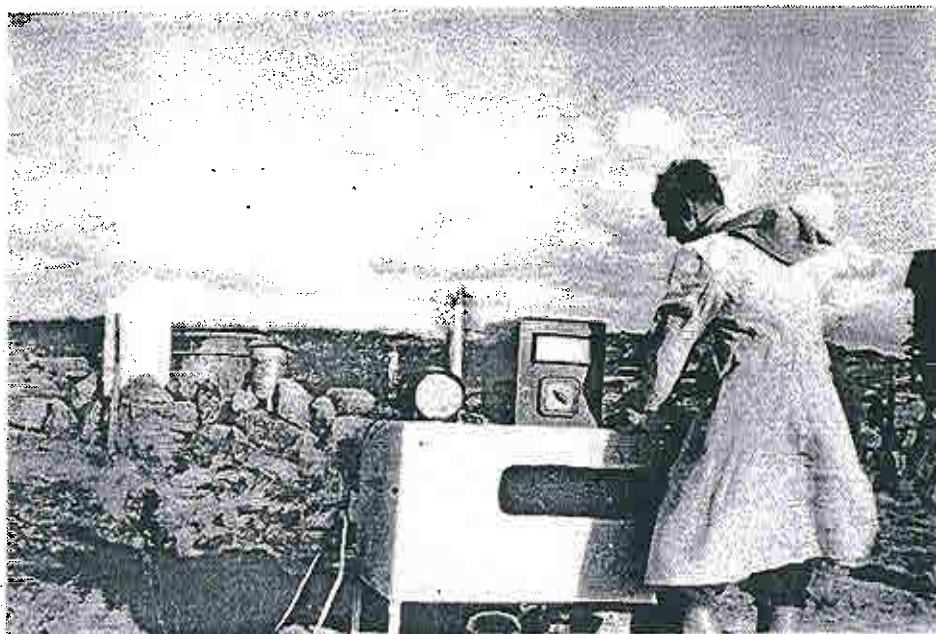
Råolja Kuwait. Ingen överkokning. Tung olja sjönk ned till botten. Vattenångan kvävde.

Försök 16

Råolja Kuwait. Annat kärl utan vattenfas parallellt med försök 15. Ingen överkokning.

Försök 17

Eldningsolja 3 (15% Carapito, 17% LF, 68% återstod). Högtalarljudd. Överkokning med 10 m hög låga. Pik ned i vattenfasen.



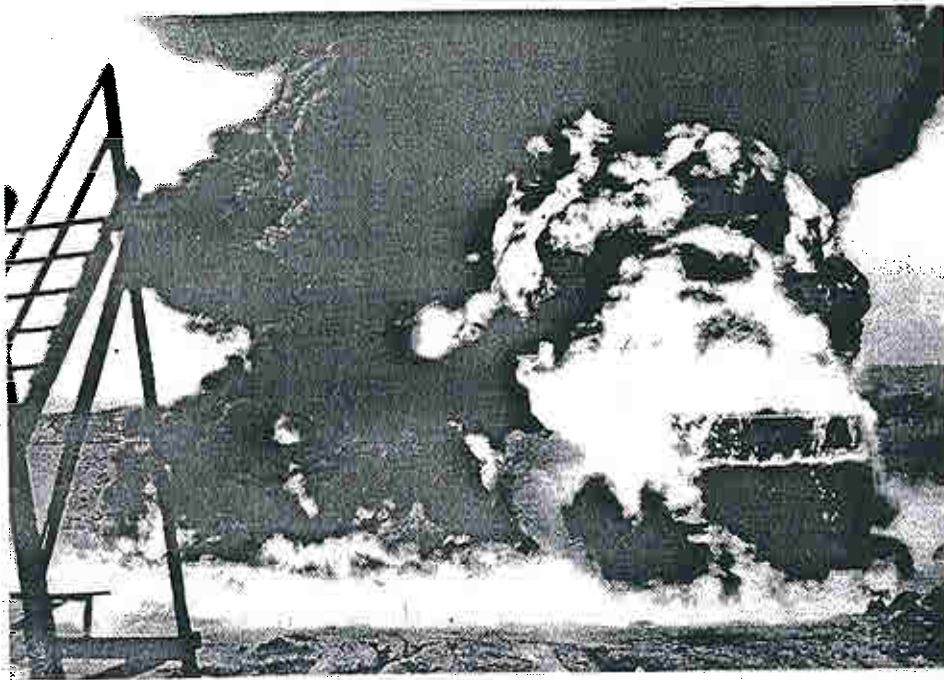
Āngenjör Karl-Erik Juter vid mätstationen

HUVUDFÖRSÖK

Efter de intressanta förförsöken inriktades arbetet på en uppföljning i halvstor skala och med släckinsats. Till förfogande fanns en cistern med diameter 3,8 m och höjden 3,7 m. Till skillnad från nästan alla tidigare släckförsök med skum mot brand i olja bestämdes förbrinntiden till 2 timmar och produkten skulle bytas mellan varje försök. Noggrann registrering av tid, temperatur, vind osv skulle ske. I cisternen var 22 termoelement kopplade till en särskild mätcentral. Under tankbotten fanns en mikrofon kopplad till högtalare vid mätstationen. Försöken fotograferades och färgfilmades.

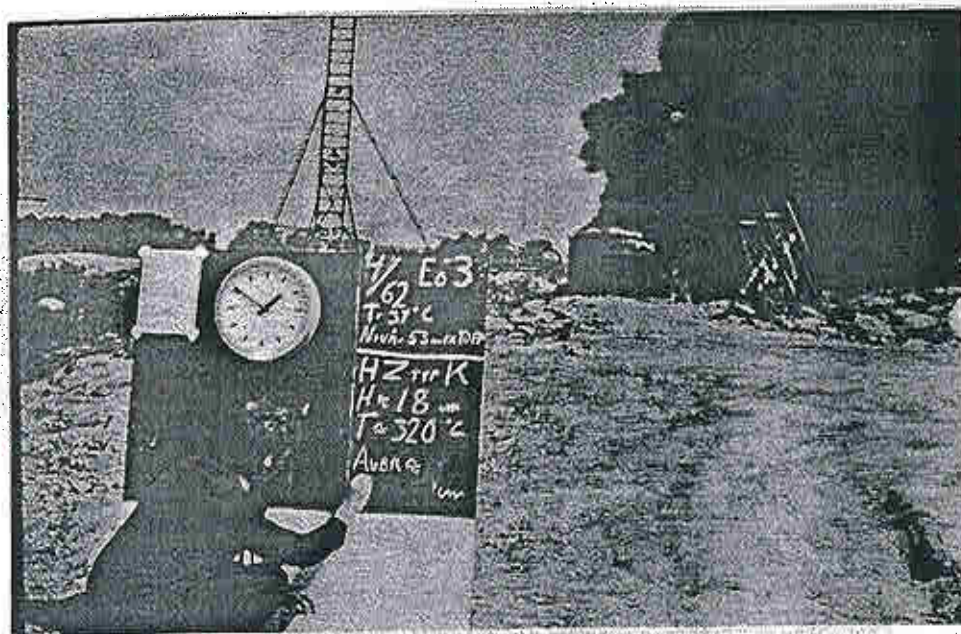
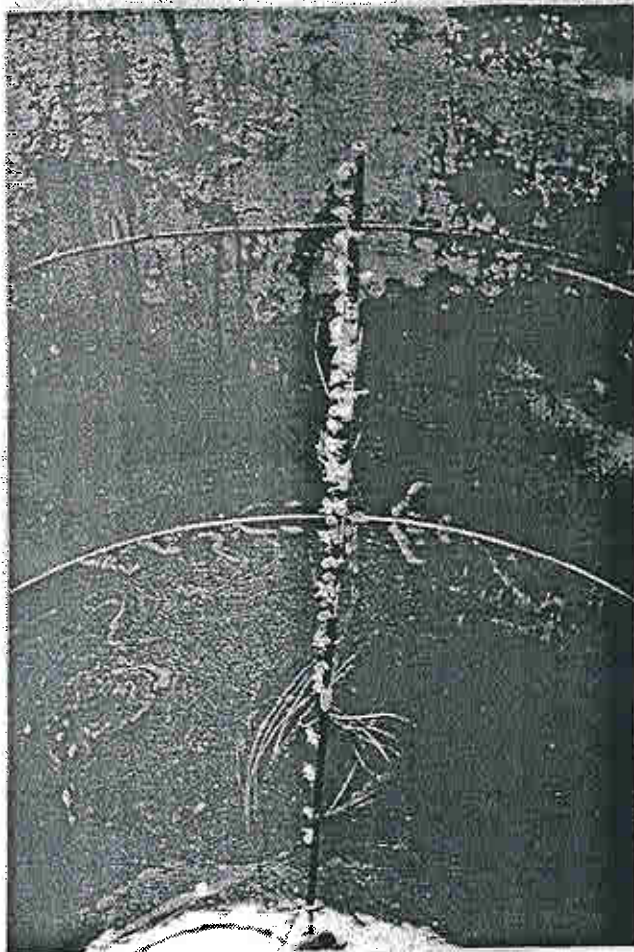
Under 1961 utfördes en serie försök med råolja (crude) av olika typer och under 1962 en serie med eldningsolja 3. Släckinsatser gjordes enligt system "över topp", "under ytan" (sub-surface), "uppflytande slang" (semi-subsurface) och "omrörning med luft" (agitation by air).

Vid ett tillfälle gjordes inte släckinsats utan boil-over fick utvecklas fritt med resultat att ett eldklot utformades högt ovan mark där hela tankinnehållet brann upp momentant. Fenomenet besågs tyvärr endast av ett fåtal "vakthavande" då man beräknat tidpunkten för uppkastet fel så huvudparten av åskådare hade avvikit (det var mitt i natten).



Överkokning vid försöken med råolja 1961.

Försöksystemen med
termoelement



Försök med eldningsolja 3

FÖRSÖK MED RÅOLJA

Under tiden januari - februari 1961 genomfördes en serie försök med råolja (crude-oil) av typerna Gach Saran (försök 3 - 8) och Ras Tanura (försök 1 - 2). Oljans höjd var drygt 3 m och utan vattenbädd. Proven utfördes med brinntider om 25, 60 och 90 min och med de tre släckmetoderna toppinföring, botteninföring och semisubsurface (uppflytande slang). Vissa försök gjordes också med luftinblåsning utan skumvätsketillförsel (agitation by air).

Under brinntiden hann hetzonen av varierande djup och temperatur bildas, varför överkokning uppstod vid flera av proven.

Tabell

Försök	Metod	Brinntid min	Hetzonen djup temp°C mm		Släcktid min	Hetzonen eft. omrörning djup mm temp°C	Anm
1	över topp	25	50	200	3		ingen överkokn.
2	" "	60	240	180	8		liten överkokn vid skuminsats
3	botteninf.	25	60	215	3		"
4	"	94	600	155	8,5		kraftig överkokn. vid skuminsats
5	uppflyt.slang	25	110	210	9		liten överkokn. vid skuminsats.
6	" "	90	1 080	145	20		spontan överkokning efter 69 min vid skuminsats kraftig överkokning i 9 etapper
7	kylning, omrör. + botteninf.	28	130	200	6,5		ingen överkokn.
8	"	90	1 000	145	19	1 200 100	vid kylning kraftig överkokning vid skuminsats ingen överkokn.

Tabellen upptar endast försöken med hög fyllnadsgrad. Vid låg fyllnadsgrad (0,3 - 0,5 m oljepelare) uppträdde endast små eller inga fenomen, varför resultaten ej medtagits här.

De många överkokningarna i prov 6 har antagits bero på att skumslangen vid uppflytningen fastnat i ett stag i cisternen så att skummet tömts ut direkt i hetzonen i stället för på ytan. Observera dock att vid försök 4 med eldningsolja 3 år 1962 det också uppstod 9 på varandra följande överkokningar vid botteninföring! Skummet når ju här den heta zonen underifrån varvid värmeutbytet till ångbildning blir optimalt.

Avbränningshastigheten vid dessa försök varierade mellan 10 och 20 cm/h och hetvågens hastighet mellan 25 och 80 cm/h (i vissa fall över 100 cm/h).

FÖRSÖK MED ELDNINGSSOLJA

I juli 1962 utfördes en serie släckförsök med eldningsolja 3, som då var det vanligaste bränslet i större panncentraler och därför bedömdes vara särskilt intressant i hetzonssammanhang.

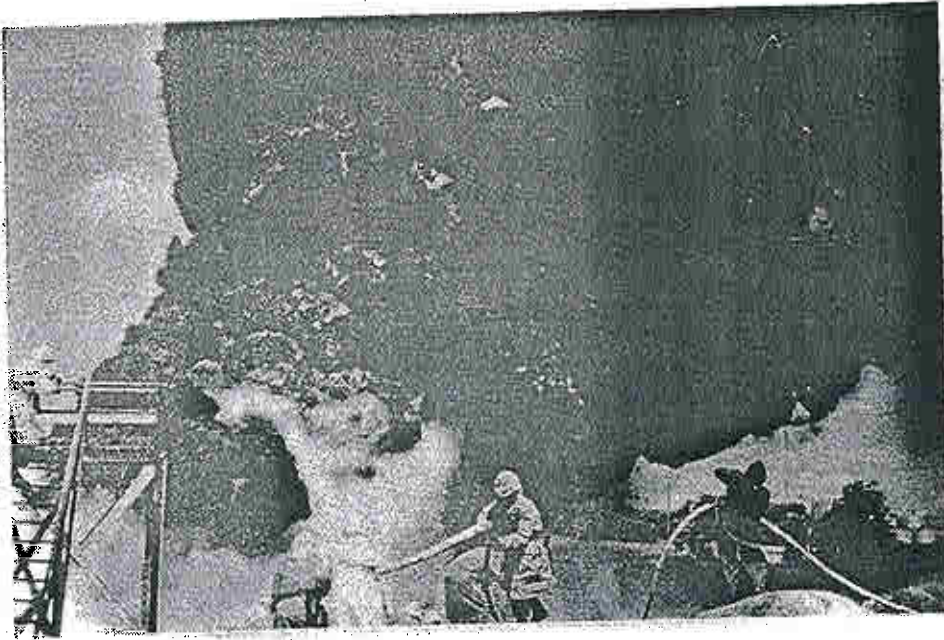
Proven genomfördes i tre serier, varav två med en oljehöjd av omkring 275 cm och den tredje med en oljehöjd av 40 - 60 cm, motsvarande hög respektive låg fyllnadsgrad. Brinntiderna höll sig omkring två timmar med några undantag (25 respektive 90 min). Mellan försöken återställdes produkten till normalsammansättning genom tillsats av de lätta komponenter som avgått vid tidigare försök.

Tanken var försedd med ett 4" uppåtriktat intag för olja alternativt skum på 40 cm höjd över tankbotten. På en centralt placerad vertikal stång i tanken var inkopplade 22 stycken termoelement. De översta 13 elementen var placerade på 5 cm avstånd från varandra, de övriga på 15 - 20 cm avstånd. På tankväggens ytersida var 4 termoelement fästade. Under tanken var en mikrofon fastsatt. Registrering av samtliga mätvärden gjordes i en mätcentral c:a 75 m från tanken. Före och efter försöken togs prov på olja och skum. Samtliga försök filmades.

Vad gäller mätvärdena kan en noggrannhet på $\pm 2^{\circ}\text{C}$ anges för temperaturmätningar och för angivna oljenivåer (under brand), hetzonsdjup etc en noggrannhet på c:a ± 2 cm.

För skumtillverkning användes en 5-procentig färdig blandning av skumvätska i vatten, som via motorspruta och tryckskumrör överfördes i skum. Vid toppinföringsförsöken användes för försökstanken specialtillverkade skalenliga begjutningsrör. Transporten av skum skedde vid dessa försök via en c:a 30 m lång smalslang.

Vid försöken med botteninföring användes ett c:a 20 m långt 2" rör utmynnande i ett inuti tanken centralt placerat uppåtriktat 4" munstycke. För skydd av mätutrustningen fanns vid samtliga försök ett 40 cm tjockt vattenskikt i botten på tanken. För antändning användes vid de flesta försöken 2 - 3 liter bensin.



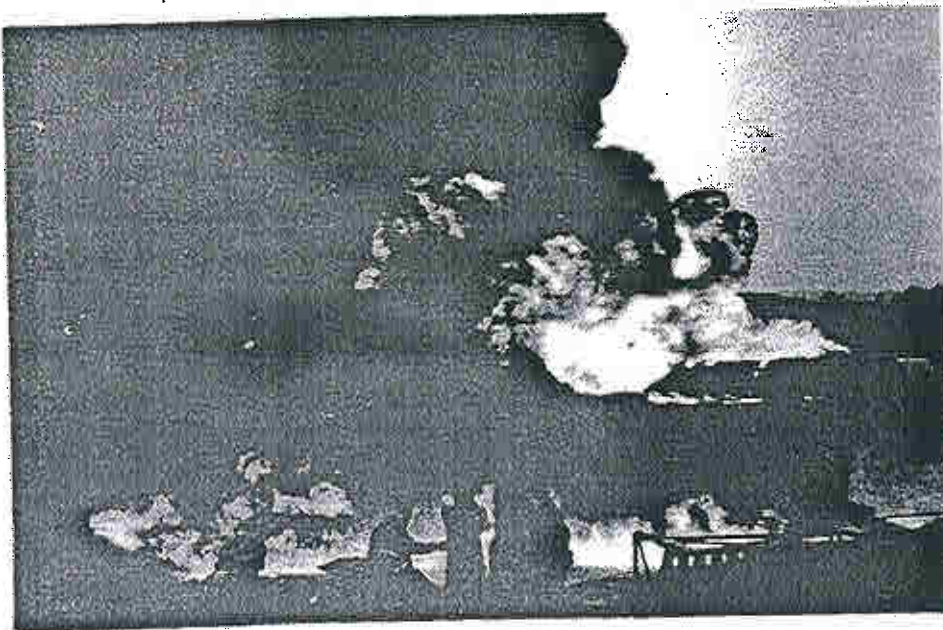
Tabell

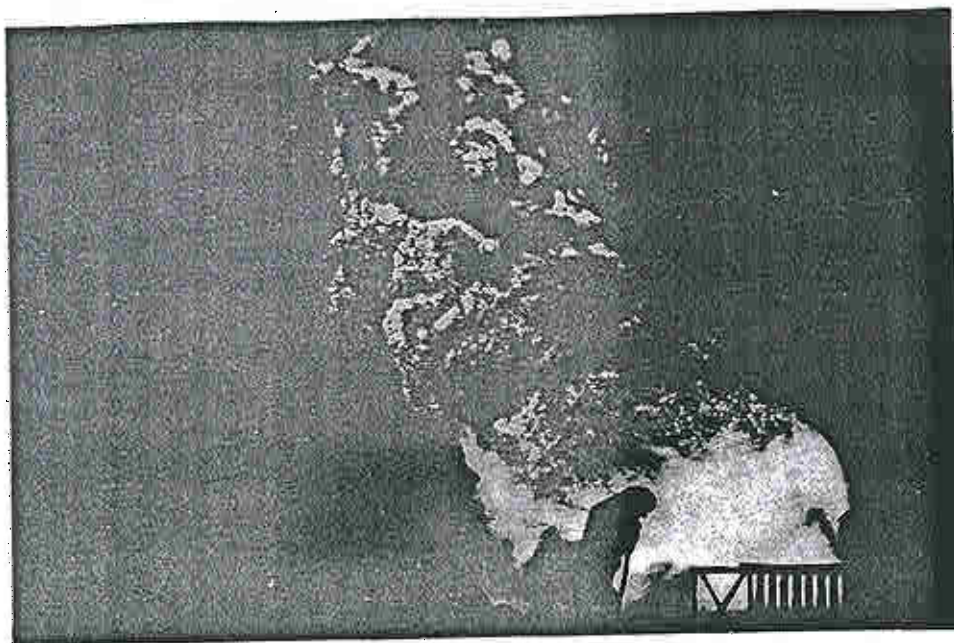
Prov	Släckmetod	Brinntid min	Hetzon djup m m	temp °C	Släcktid min	Hetzon återst. djup m m	temp °C	Anm
1	botteninför.	120	340	285	15	150	96	kraftig överkokn. eft. 2 och 10 min
2 A	toppinför.	126	280	280	12	270	185	ingen överkokn.
2 B	botteninför. forts. av prov 2 A	1,5	270	165	4	180	155	kraftig överkokn. eft. 1,5 min
3	botteninför.	25	30	100- 200	8	ej mät- bart		ingen överkokn.
4	vatten-luft- inblåsning	127	270	315	-	900	60- 160	avbröts eft. 23 min, branden accelererade
	botteninför.		900	60- 160	-	1950	50- 140	släcktes ej 9 häft. överkokn. und. 28 min
	toppinför.		1950	50- 140	3	1950	50- 140	släckt utan överkokning
5 A	toppinför. (strömn. efter kanten)	90	330	300	12	300	200	ingen överkokn.
5 B	toppinför. (fritt fall) forts på 5 A	1,5	300	200	1,5	300	200	ingen överkokn.
5 C	toppinför. (fritt fall) 4 l/m ² /min forts på 5 B	6	300	200	-	580	70- 160	kraftig överkokn. efter 2 min avbröts
5 D	toppinför. (fritt fall) forts på 5 C	-	580	70- 160	2,5	830	70- 120	släckt utan överkokning
6	toppinför. låg fyllnad	122	150	290	5,5	160	180	ingen överkokn.
7 A	botteninför. forts på 6	9	180	140	5	280	60- 170	ingen överkokn.
7 B	kraftig vatten- dimstråle forts på 7 A	3	300	65- 100	1	-	-	omedelbar släckning
7 C	pulver forts på 7 B	3	300	65- 100	-	-	-	slocknade ej

Försöken gav mycket intressanta resultat. Påtagligt är att släckning med skuminsats över topp är skonsammast och i de flesta fall lyckas utan att överkokning inträffar även vid djup hetzon med stort värmeinnehåll. En tydlig skillnad mellan metoderna toppinföring respektive botteninföring visade sig i försök 2 B där den lyckade mjuka släckningen vid påföring över topp fullföljdes med botteninföring, som resulterade i en mycket kraftig överkokning. Vid låg fyllnadsgrad förelåg inga större svårigheter att snabbt uppnå släckning oavsett metod. Det gick bra även med en spridd vattenstråle men däremot ej med pulver, vilket var förvånande då detta släckmedel av erfarenhet är det enda användbara vid brand i asfaltkokare. Det höga fribordet medförde att den bildade vattenången kraftigt dämpade branden.

Det sedan länge kända faktum att hetzon börjar utbildas efter en halvtimmes brinntid verifierades av försöken, som utgör underlag för filmen "Hetzon", vilken trots sin ålder och bleka färger har stort instruktivt värde. Det bör här påpekas att släckning med s k "lättvatten" (filmbildande skum) inte är aktuell när hetzon med temperatur över 100°C föreligger. Den av Riesinger lanserade metoden att släcka oljebränder genom omrörning medelst luftinblåsning är icke att rekommendera när hetzon med hög temperatur föreligger enär man då riskerar att få en mycket större hetzon, visserligen med lägre temperatur men dock överstigande 100°C och då kan hamna i ett farligt läge.

Avbränningshastigheten vid dessa försök varierade mellan 6 och 10 cm/h. Hetzonens utbredning varierade mellan 13 och 22 cm/h. Vid låg fyllnadsgrad var den dock endast 7,5 cm/h. Ovan angivna värden är avsevärt lägre än vid råoljeförsöken, där de var 10 - 20 respektive 25 - 80 cm/h.





Cisternen är helt dold av brinnande olja

HETZONSBILDNING - TEORI

Genom erfarenhet och försök vet man att en het- eller värmezoon med tiden utbildas vid brand i oljor. Värmestrålningen från flamman absorberas endast i mycket liten omfattning i gaszonen och därför kommer den del av strålningen som är riktad mot oljeytan att praktiskt taget nå denna oförminskad. Emellertid reflekterar ytan bort en del av strålningen, varför man kan säga att den utstrålade värmemängden = den absorberade + den reflekterade värmemängden. Jämvikten mellan gas- och vätskefasen vid en brand bestäms principiellt av en lag, Raoults lag, som säger att partialtrycket i gasfasen av en lätt flyktig komponent är proportionell mot koncentrationen i vätskefasen. I och med att brand uppstår kommer denna jämvikt att störas genom att gasfasen avbrännes och således försvinner. Detta betyder också att vätskefasen strävar efter att till gasfasen överföra motsvarande komponenter, vilket medför en utarmning av vätskefasen på lättare produkter. I vätskefasen kommer alltså igång en diffusion, vilken äger rum utan att något arbete behöver uträttas, varför alltså inte heller någon temperaturändring behöver ske.

Den i vätskan infallande värmestrålningen utnyttjas dels för att förångna en del av produkten och dels för att uppvärma en del av oljan varigenom en värmezoon bildas.

Petroleumprodukterna har ett värmeledningstal som är mindre än för vanliga byggnadsmaterial. Oljan är alltså att betrakta som en termisk isolator. Detta betyder att en värmevåg genom direkt konvektion blir så obetydlig att man kan bortse från den. Man kan också räkna med att randeffekter, t ex genom värmeöverföring från en het tankvägg blir av begränsad betydelse.

Hur sprider sig värmen genom produkten?

Gäller det en produkt med bestämd kokpunkt, som ej utgör en blandning och således är homogen blir det inte frågan om någon vandring av fraktioner med lägre kokpunkt upp till ytan då ju branden försörjs hela tiden med bränsle från ytan. En viss inträngning av värmeenergi kommer ändå att äga rum varigenom det bildas en värmezoon. I denna zoon bestäms medeltemperaturen huvudsakligen av produktens kokpunkt på så sätt att i ytan av vätskan kommer temperaturen inte att väsentligt överskrida kokpunkten. Temperaturen nedåt i vätskan bestäms av absorptionskoefficienten för produkten men kan sägas avta snabbt med djupet. En värmezoon bildas alltid eftersom värmeabsorptionen alltid kommer före förångningen. Ofta kan man här räkna med en liten värmezoon, som vanligen är praktiskt försumbar.

När det gäller en olja som utgör en blandning av produkter med skilda kokpunkter uppstår ett komplicerat förlopp. Värmezonen kan här sägas uppstå på tre olika sätt:

- genom en diffusionsvåg.
- genom en absorptionsvåg
- genom samverkan mellan de båda vågorna.

DIFFUSIONSVÅG

Diffusionsvågens temperatur ligger mellan de tyngsta och de lättaste komponenternas kokpunkter. Temperaturen i vågfronten skiljer sig inte nämnvärt från temperaturen på vätskeytan. Under brandens gång ökar temperaturen inte nämnvärt i diffusionsvågen, vilken dör ut när den närmar sig en fasgräns, dvs vattenyta eller tankbotten.

Diffusionsvågen uppkommer genom att värmen från branden med hjälp av en kraftig strömning diffunderar ned i produkten. Den åstadkommer en kokning av de lättare komponenterna i oljan. Den därvid bildade ångan stiger upp mot ytan, vilket gör att den relativa tyngden av tyngre komponenter blir större. Dessa tyngre komponenter sjunker ner och för med sig värmeenergi, som åstadkommer förångning av lättare produkter längre i djupet osv.

När vågfronten närmar sig en fasgräns, dör vågen vanligen ut. Nu har oljan blivit fattig på de lättaste produkterna och oljans temperatur har stigit. Nästa steg är att bilda en ny våg, som skiljer sig från den första och har en högre temperatur, en så kallad absorptionsvåg.

För diffusionsvågen gäller sammanfattningsvis:

- den har en temperatur som ligger mellan de lättaste och de tyngsta komponenternas kokpunkter,

- den har någotsånär samma temperatur i vågfronten som i vätskeytan,
- den ökar denna temperatur relativt obetydligt under branden,
- den dör ut när den närmar sig någon fasgräns (vattenyta, tankbotten),
- den uppstår genom att strålningsvärme med hjälp av en kraftig strömning diffunderar ned i produkten och med början i vågfronten orsakar en kraftig avkokning av de lättare produkterna,
- den är inte ofarlig utan risk för överkokning föreligger i de fall produkten är av sådant slag att vågen får en temperatur över 100°C och man för ned vatten i zonen vid släckangrepp.

ABSORPTIONSVÅG

Absorptionsvågen, till skillnad mot diffusionsvågen, har en temperaturfördelning, som bestäms av Lamberts lag:
 $Q_{\Delta h} = Q_{vz} \cdot e^{-\delta \Delta h}$ Här är $Q_{\Delta h}$ den värmemängd som når skiktet Δh under vätskeytan, Q_{vz} är värmezonen värmeinnehåll, δ är oljans absorptionskoefficient; cm^{-1} , Δh är inträngningsdjupet i cm.

Absorptionsvågen, här har den fått ett djup, följer ganska noggrant förbränningen. Till skillnad från diffusionsvågen stannar inte absorptionsvågen när den når en fasgräns, utan fortsätter. Alltså om det finns vatten under oljan, går absorptionsvågen in i vattenskiktet och överkokning kan äga rum. Om det inte finns vatten på botten, kan en accelererande förbränning äga rum, som mycket liknar överkokning.

Rent generellt måste framhållas att vid brand i en brandfarlig vätska uppträder alltid en absorptionsvåg. Även om en diffusionsvåg inleder det termiska förloppet, kommer när denna ebbar ut, absorptionsvågen. Dess intensitet (djupet och temperaturen) varierar emellertid ganska mycket från fall till fall, men om en diffusionsvåg föregått förloppet, får detta ett mycket gynnsammare utgångsläge genom att grundtemperaturen höjts.

Från säkerhetssynpunkt är absorptionsvågen den verkligt farliga företeelsen.

Farlighetsgraden varierar naturligtvis beroende på vilken produkt, som brinner, men om i värmezonen ansamlats en stor värmemängd, blir risken för överkokning, när absorptionsvågen når en vattenyta, ytterligt stor. Överkokningen sker som en förbränning med en intensiv acceleration och med våldsamma flamuppkast som följd.

Vattnets roll i hetzonssammanhang blir inte enbart av "utlyftande" verkan, utan genom bildning av hydroxiradikaler, bidrar det verksamt till förbränningsaccelerationen.

Även om inte något vatten är närvarande, kommer under avslutningsfasen, dvs när absorptionsvågen når tankbotten, förbränningen att accelereras. I detta fall når värmestrålningen en zon, som inte kan fortplanta energi nedåt i produkten. Resultatet blir, att produkten i värmezonen måste absorbera all strålningsvärme, varigenom avkokningen och krackningen också undan för undan ökar, vilket får till följd, att ett förlopp liknande en överkokning kan utvecklas.

De flesta produkterna på marknaden har ett ganska brett destillationsintervall vilket innebär att säkerheten äventyras i brandens slutfas, dvs de lättare fraktionerna avgår och de tyngre blir kvar med de risker det innebär ifråga om hetzon, men påpekas bör att lättare produkter såsom bensin inte har zoner med temperatur som hotar ge överkokning.

För absorptionsvågen gäller sammanfattningsvis:

- den får en maximitemperatur som i stort bestäms av de avkokade komponenterna,
- får en temperaturfördelning och ett djup som bestäms av Lamberts lag,
- får ett djup som, sedan jämvikt inträtt ganska noggrannt följer avbränningen,
- uppkommer genom att en del av strålningsvärmens absorberas i produkten.

"PIK"-BILDNING

En s k "pik"-bildning (från eng peak) uppträder också i framför allt tunga oljor och råolja. Pik-bildning brukar uppträda först efter det att branden pågått i flera timmar. Orsaken till uppkomsten av pikar är att de lättaste produkterna avdestilleras under brandens gång och polymerisation av krack-produkterna äger rum. När den specifika vikten i värmezonen eller delar av värmezonen blivit så stor att den närmar sig den specifika vikten för produkten i de av branden inte direkt berörda delarna av oljan, blir jämvikten labil. Då klumpas denna del av tunga restprodukter lätt ihop till stora klumpar, som sedan kan sjunka ner genom oljelagret ända ned till vattenlagret. Detta kan ske ganska långsamt, men eftersom oljan har så liten värmeledningsförmåga, kan oljeklumpen bibehålla sin höga temperatur ända tills dess att den nått vattenfasen. Detta kan åstadkomma en lokal överkokning, som sätter i gång strömmar inom oljan. Den ökade rörelsen i oljan kan medföra en ökad pik-bildning och mer och mer varmare produkter från den labila värmezonen sjunker ner. I och med detta ökar risken för överkokning i större omfattning och därmed utkastning av oljan.

Pik-bildning kan initieras på annat sätt, t ex genom att brandförsvaret sprutar vatten eller skum på ytan av oljelagret. I den labila, heta zonen kan de tunga produkterna börja klumpa ihop sig, varefter klumparna sjunker ned mot vattenlagret. Detta kan ske även efter det att branden har släckts, vilket utgör en stor risk för släckningspersonalen.

OLIKA PRODUKTERS BENÄGENHET ATT BILDA HETZONER SAMT RISKER AV DESSA ZONER

Bensin

Både diffusions- och absorptionsvåg. Temperatur i diffusionsvåg uppemot 100°C, liten absorptionsvåg med högre temperatur, men ingen större risk för överkokning.

Reabränsle

MC 77 (reabensin). Både diffusions- och absorptionsvåg med risk för överkokning.

MC 75 (flygfotogen). Med normal sammansättning endast absorptionsvåg. Ingen större risk för överkokning

Tungbensin, fotogener och diesel.

Var för sig ger absorptionsvåg med någon risk för överkokning. Sammanblandade får de helt andra egenskaper som är svåra att förutsäga.

Tjockare oljor (råolja = crude-oil)

Ger både diffusionsvåg och absorptionsvåg. Överhängande risk för överkokning. Pikbildning.

Lösningsmedel

Ger en absorptionsvåg. Ingen större risk för överkokning.

Eldningsolja

Risk för överkokning och pikbildning.

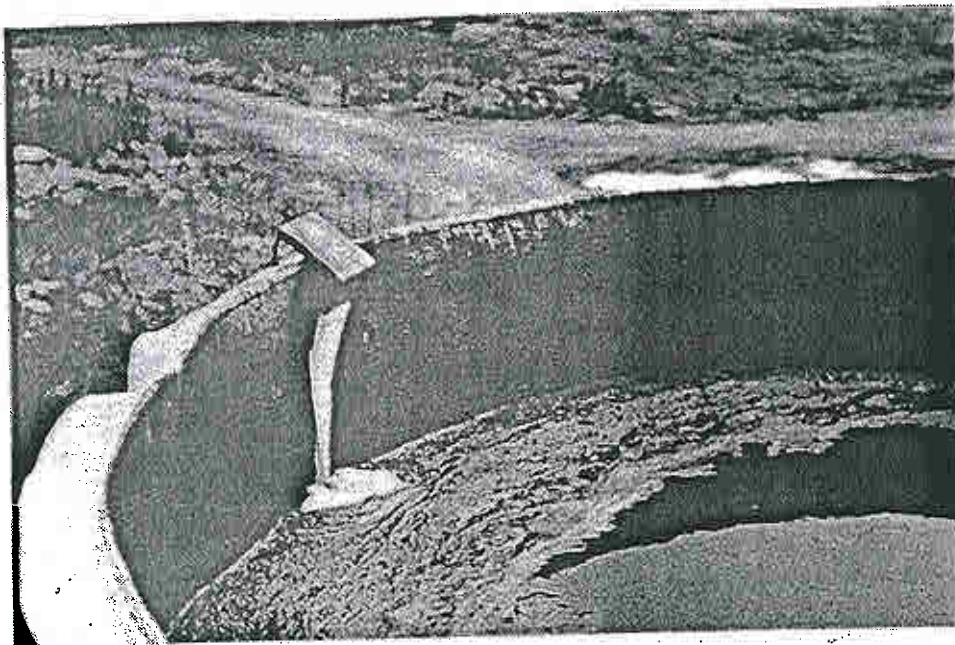
ALLMÄNT OM TEKNIK OCH TAKTIK

Om en hetzonsbildande olja brinner måste man alltid överväga risken för överkokning. Man kan inte bara låta oljan brinna till slut då det dels tar mycket lång tid (teoretiskt för en 15 m högtank 100 timmar, dvs 4 - 5 dygn) med svår miljöpåverkan, dels förstörs stora materiella värden och sist men icke minst inträffar överkokning när hetzonen når fasgräns vid cisternens botten. Man måste således insätta släckningsangrepp och detta helst så tidigt som möjligt. Detta strider i sin tur mot den allmänt accepterade regeln att man inte skall förhastat sig utan samla stora resurser i form av skumvätska, pumpkapacitet osv från en stor area innan angreppet insättes.

Man bör alltid vid cisternbrand med risk för överkokning ha en man avdelad för att iakttaga indikationer som förebådar ett våldsamt förlopp. Röken ljusnar några minuter innan överkokningen och ett knastrande ljud höres. All personal måste då dras tillbaka från området.

När man lägger på skum och oljan hunnit bilda hetzon kan dessa indikationer komma omedelbart. Man skall då genast avbryta skumgivningen och inte börja igen förrän överkokningen upphört. Man får alltså sätta in skumgivning i omgångar för att successivt utarma hetzonen.

Om risk för överkokning finns måste utrustning finnas framme för att släcka den olja som hamnar på marken och som hotar omgivningen. I de flesta fall är här kraftiga vattenstrålar som kan sopa undan lågorna det effektivaste.



Skuminsats över topp med mjuk påföring

SYNPUNKTER PÅ OLIKA METODER ATT ANGRIPA OLJEBRAND MED HETZON

Omrörning med luftinblåsning eller befintliga omrörare. Omrörning kan i vissa fall och under kort tid vara ett sätt att minska brandens häftighet så att man lättare kan närma sig cisternen. Kall olja förs upp till ytan och dämpar branden. Metoden är bara aktuell i början av branden. Ju längre branden varat desto större är risken att man ökar hetzonens djup. Temperaturen i hetzonen sjunker men värmeinnehållet är fortfarande stort. Omrörningen kan påverka diffusionsvägens nedträngning i en annan fas, exempelvis vatten. I ett senare skede av en brand blir således metoden direkt farlig.

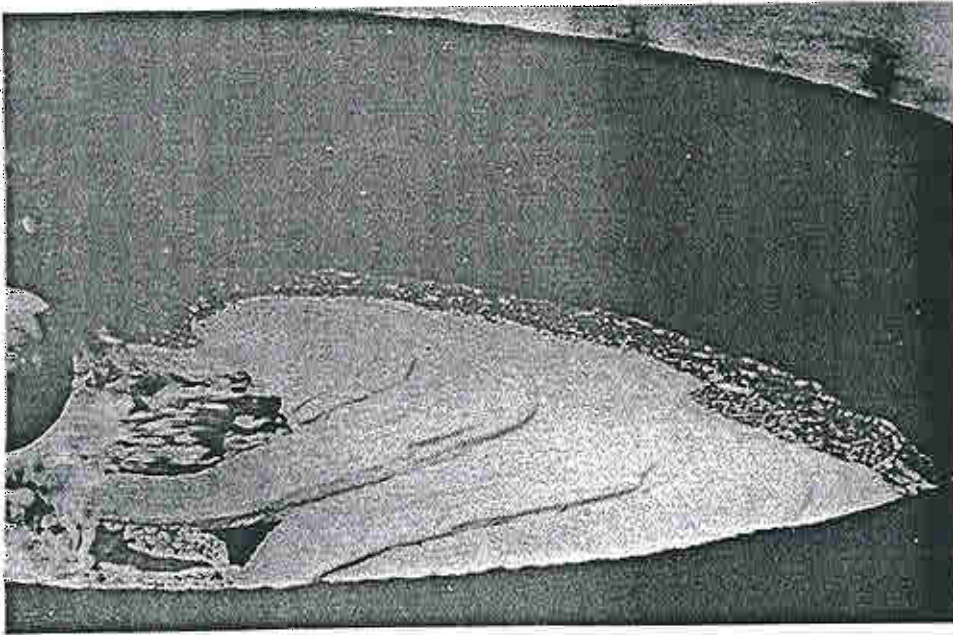
Urpumpning av produkt ur en brinnande cistern. Metoden går ut på att dels rädda så mycket av produkten som möjligt, dels att minska brandens varaktighet. Man måste dock tänka på att när man pumpar ur produkten minskar avståndet till närmaste fasgräns (tankbotten, vattenyta), vilket innebär risk för överkokning. Om man kontrollerar temperaturen på den utpumpade produkten kan denna risk undvikas förutsatt att inte pikbildning ägt rum.

Risken för cisternförstöring ökar naturligtvis också i takt med urpumpningen. Oskyddad plåt förstörs rätt fort och viks inåt cisternen varvid stora värden kan gå till spillo.

Skuminföring

Skummet är avskiljande och i viss mån kylande. Då insatstiden för angrepp mot cisternbrand säkerligen är minst 30 min måste överkokningsrisken beaktas. Tillräckligt med skumvätska innan angreppet påbörjas är en nödvändighet. I "Teknisk rapport"

från Statens brandnämnd redovisas skumvätskebehov för olika fall som måttstock för brandförsvaren.



Släckning med uppflytande slang

Kylning av brinnande cistern

Då oljans värmeledningsförmåga är mycket liten kan inte någon kylning av oljan väntas om man vattenbegjuter cisternmanteln. Man kan heller inte räkna med att cisternväggen från hållfasthetssynpunkt blir bättre genom vattenkylning vid flamzonen utan tvärtom blir denna sprödare och vid ojämn kylning kan spänningar uppstå som kan skada svetszonen.

Däremot kan man genom kylning av cisternväggen förhindra en återantändning efter släckning. Detta synes vara den enda fördelen med metoden.

Litteraturhänvisning

1979 Statens brandnämnd -

utbildningsenheten
"Cisterbrandsläckning" -
seminariearbete av Conny
Larsson, Bertil Wildt-Persson,
Kennie Thörn.

1981 Statens brandnämnd -

Teknisk rapport "Brandfarlig
vätska ovan jord - planläggning
för släckinsats - Birger
Lennmalm.

REKOMMENDATIONER TILL SLÄCKPERSONALEN VID BRAND I HETZONSBILDANDE OLJA

1. Bestäm tiden för brandutbrottet. Om mer än en halvtimme förflutit - räkna med risk för överkokning.
2. Fastställ vilken oljetyp som är aktuell och cisternens fyllnadsgrad samt om oljan är förvärmad.
3. Försök få besked om vatten finns i oljan eller på cisternbotten. Om möjligt avlägsna vatten från cisternbotten genom avtappning. Överväg möjligheten att delvis tömma cisternen på olja, vilket dock tar lång tid och förutsätter tillgång till ledigt utrymme.
4. Avspärra ett stort område för alla utom släckpersonalen.
5. Förbered släckning av sekundära bränder vid eventuell överkokning.
6. Vid släckinsats:
 - om tendens till överkokning visar sig avbryt släckinsatsen tillfälligt och försök att utarma hetzonen succesivt,
 - dra tillbaka personalen om branden accelererar och särskilt om röken blir ljusare och ett knastrande ljud börjar uppträda,
 - om det gäller en cistern med flytande tak se till att taket inte sjunker genom tyngden av släckvatten,
 - använd minsta möjliga personalinsats - föredra obemannad utrustning.

SRV CIRKULÄR

Hittills har i serien utkommit

- 1/87 R Koldioxid för brandsläckning
- 2/87 R Acetylen­gasflaskor vid brandsläckning
- 3/87 R Helikopter vid skogsbrandsläckning
- 4/87 R Exempel på räddningstjänstplan (Småstads kommun)
- 1/88 R Terrängtransporter
- 2/88 R Vattendykning i kommunal räddningstjänst
- 3/88 R Information från SMHI i samband med räddningstjänst
- 4/88 R Hetzonsbildning vid brand i oljor

SRV CIRKULÄR utges av Statens räddningsverk. Cirkulären skall vara ett hjälpmedel i räddningstjänsten och befolkningsskyddet. Innehållet i cirkulären är inte att betrakta som föreskrifter eller allmänna råd.

Ytterligare exemplar kan beställas på adress:
STATENS RÄDDNINGSVK, Trycksaksförrådet (rum L 125),
KAROLINEN,
651 80 KARLSTAD