

Sören Isaksson
Henry Persson

Skydd och insatser vid gasololyckor - En kunskapssammanställning

BRANDFORSK projekt 731-921

Abstract

Fire brigade response in accidents involving LPG - A literature review

This report gives advice regarding tactics to be used in accidents involving large tanks containing LPG. It summarizes available techniques on how to protect large LPG tanks against fire induced failure, including pressure relief valves, insulation and water spray cooling. Included are also references to risk analysis models for assessment of missile-, thermal- and overpressure hazards in accidents. This report is the result of an extensive literature study, and contains a long list of references.

Failure of LPG storage or transportation tanks are rare events. On the other hand there is a potential for large consequences if an incident should occur. Therefore it is important to identify factors that contribute to the outcome of an incident. Fire brigade response shall be preplanned and personnel trained so that action is undertaken without unnecessary risk for people.

Some conclusions from the literature studied are:

- BLEVE's and other total tankfailure modes are rare events
- A jet fire impinging on a LPG tank can lead to failure within 4 minutes.
- Carefully designed water spray systems can cool tanks subjected to pool fires using 6,7 l/m²min. Downward only water spray systems are not sufficient even at 16,7 l/m² min and water spray protection systems designed to protect against impinging jet fires may need as much as 120 l/m² min.
- Protecting by burying, mounding or coating are the only ways of assuring protection at all times. Coatings may need to be qualified by jet fire tests.
- Thermal and pressure hazards can be assessed fairly well by models, allowing for preplanning around fixed installations.
- Missile hazards are not so well understood but empirical knowledge put limits to hazard areas.
- Fire brigade personnel working in the hazardous area must have sufficient personal protection equipment.
- Good practices shall be followed concerning tank and equipment installation. The owner/user must be aware of the hazards involved in LPG handling.
- Inspections and maintenance must be done properly.

Sponsor of this project was the Swedish Fire Research Board.

Key words: LPG, propane, butane, tanks, storage, transport, railroad, truck, safety relief valves, insulation, water cooling, BLEVE, missiles, hazards, accidents, risk analysis.

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 1994:57
ISBN 91-7848-516-9
ISSN 0284-5172
Borås 1994

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1994:57

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telefax + 46 33 11 77 59

Innehållsförteckning

	Abstract	2
	Innehållsförteckning	3
	Förord	4
	Sammanfattning	5
1	Bakgrund	6
2	Informationsinsamling	7
3	Svenska bestämmelser	8
4	Tillsyn och internkontroll	10
5	Värmepåverkan	12
5.1	Dimensionering av tryckavlastning	16
5.2	Passiva skyddssystem	19
5.3	Aktiva skyddssystem	22
6	Erfarenheter från olyckor	24
6.1	Referenser från olyckor vid transport	25
6.2	Referenser från olyckor med lagertankar och pipelines	27
6.3	Referenser från olyckor vid hantering och användning	29
7	Risk- och konsekvensanalys	32
7.1	Kringflygande fragment	34
8	Utbildning	36
9	Besöksrapporter	38
9.1	Besök på Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)	38
9.2	Besök på Health and Safety Executive (HSE)	39
9.3	Besök på Shell Research Department (SR)	40
10	Slutledning och rekommendationer	42
10.1	Ansvarsförhållanden	42
10.2	Planering - projektering	42
10.3	Tillsyn - kontroll - insatsplanering	43
10.4	Olika olycksscenarier kräver olika taktik	46
11	Forskningsbehov - vidare insatser	52
	Referenser	55
Bilaga 1	Farligt Godskort nr 41: Gasol	
Bilaga 2	Kontrollista för avsyning eller tillsyn, utdrag ur SÄI-INFO 1992:5	

Förord

Denna litteraturstudie och rapport har finansierats av BRANDFORSK, projekt 731-921, och utgör en del av de medel som ingår i BRANDFORSKs forskning runt brandsäkerheten inom oljehanteringsanläggningar, projekt R 45.

Syftet med litteraturstudien har varit att skaffa kunskaper om tidsaspekter och insatsmöjligheter för räddningstjänsten vid olyckor med större gasoltankar inblandade. Arbetet bör dock även kunna vara andra myndigheter samt industrin till hjälp.

Resonemangen vad gäller uppvärmning av tankar samt tryckavlastningsventilers funktion kan säkert till viss del tillämpas på andra tryckkondenserade gaser, brännbara eller giftiga. Dock är de inte direkt applicerbara i det fall det uppstår exoterma kemiska processer inuti ett kärl.

Kontakter har tagits med internationella institutioner som aktivt arbetar inom detta område. Besök har gjorts vid två laboratorier i Storbritannien och ett i Tyskland.

Av de personer i Sverige som på olika sätt aktivt bidragit till projektet bör nämnas Kaare Brandsjö, Ingvar Hansson Statens Räddningsverk (SRV), Erik Nilsson Sprängämnesinspektionen (SÄI), Börje Stens AB Svensk Anläggningsprovning (SA), Lennart Skymbäck Svenska Gasföreningen (SGF), Stellan Winter, Richard Forsén och Stefan Lamnevik på Försvarets Forskningsanstalt (FOA) samt Sven Andersson Svenska Brandförsvarsföreningen (SBF).

Ett stort tack riktas till alla som med sina kunskaper och referenser bidragit till detta projekt, samt naturligtvis referensgruppen som satsat sin värdefulla tid. Sist men inte minst ett extra stort tack till Kaare Brandsjö som donerade delar av sina rika samlingar till projektet, vilka nu finns i SP-Brandtekniks bibliotek.

Sammanfattning

Denna rapport är resultatet av en litteraturstudie och innehåller en omfattande lista på referenser. Studien innefattar referenser till olyckor vid lagring av gasol. Då olyckor vid transport, hantering och användning av gasol är mer frekventa än brand som hotar tankar har referenser från olika olyckor av dessa slag angivits i ett särskilt kapitel. Fördelarna och nackdelarna med olika metoder att skydda en tank mot uppvärmning och sprängning har undersökts. Synpunkter på risk- och konsekvensanalyser samt på planering och projektering av anläggningar finns med i särskilda kapitel.

I extrema fall kan en gasolbehållare försvagas av brandpåverkan så att den sprängs inom 3 minuter från brandstart. Varken en s k säkerhetsventil eller ett kylande vattensprinklersystem innebär ett fullständigt skydd mot alla typer av brandpåverkan. Det är endast genom nergrävning eller isolering med särskilda material som skyddet blir i det närmaste 100-procentigt.

De sex nedanstående typfallen av olyckor har identifierats och en sammanställning av erfarenheter och rekommendationer för varje olyckstyp, konsekvenser, tidsaspekt, influensområde, motåtgärder och påverkande faktorer har gjorts för respektive scenario.

- Jämnt utbredd brand under eller strax intill tank.
- Punktuppvärmning mot vätskefas.
- Punktuppvärmning mot gasfas.
- Ej antänt utsläpp.
- Brandpåverkad tågagn utan tryckavlastningsventil.
- Vält transporttank

Den s k Multi-energi modellen framtagen av TNO rekommenderas för att beräkna verkan av en explosion. Den s k TNT-ekvivalent metoden som tidigare använts har visat sig inte hålla måttet.

Några exempel på faktorer som skulle kunna minska riskerna i framtiden har också sammanställts. Komposittankar verkar kunna ge ett brandförlopp med minskad explosionsrisk. Vattenstrålar kan användas för att öka utspädningen av ej antända utsläpp. Enkla skyddsplåtar monterade med distanser skulle kunna reducera värmeöverföringen till en tank betydligt.

1 Bakgrund

En förstudie kring brandrisken vid lagring och hantering av brandfarlig vara som utförts på uppdrag av BRANDFORSK [1] pekade bland annat på behovet av en kunskapssammanställning kring brandrisker vid lagring av gasol.

Detta har således varit målsättningen för projektet, dvs att inhämta och sammanställa internationellt tillgänglig kunskap och erfarenhet samt att förse räddningstjänsten och industrin med underlag för planering och genomförande av insats vid brand i samband med lagring eller transport av tryckkondenserade brandfarliga gaser, främst s k gasol. Rapporten behandlar främst anläggningsdelarna fram till förångaren, dvs de delar av systemet som innehåller gasol i vätskefas.

Gasol är inte en entydigt definierad produkt. För mer detaljerade uppgifter hänvisas till leverantörer eller t ex SBF:s farligt gods kort 41, som finns i bilaga 1, kort 471 beskriver ett annat blandningsförhållande mellan propan och butan, men faror och åtgärder är lika. I denna rapport används en definition av gasol som tillämpas i såväl Tyskland som USA där Liquefied petroleum gas (LPG) definieras som en produkt bestående av varierande andelar propan, propen, butan och buten med dess isomerer.

2 Informationsinsamling

Avsikten var att samla och sammanställa tillgänglig kunskap inom området.

Insamling har gjorts dels genom en litteratursökning, och dels genom besök på tre av de institutioner i världen som bedriver aktiv forskning inom området, Health and Safety Executive (HSE) och Shell Research (SR) i Storbritannien samt Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) i Tyskland. Brevledes har kontakter tagits med National Research Council (NRC) i Kanada. Vidare har vi inom projektets ram deltagit i en konferens, "The safe handling of pressure liquefied gases" som hölls i London 1992-11-26--27 [2].

Litteratursökningen har gjorts i biblioteken på SP-Brandteknik, LTH Brandteknik, och på SBF.

Nyckelord vid arbetet har varit, gasol, propan, butan, cisterner, tankar, lagring, transport, järnväg, lastbil, säkerhetsventiler, isolering, BLEVE.

Kontakter har också tagits med personer i Sverige som är kunniga och aktiva inom området, som t ex Kaare Brandsjö, Ingvar Hansson SRV, Erik Nilsson SÄI, Börje Stens SA, Lennart Skymbäck SGF, Stellan Winter, Richard Forsén och Stefan Lamnevik på FOA.

3 Svenska bestämmelser

Riksdagen stiftar lagar och regeringen utfärdar förordningar som på olika sätt påverkar innehav, lagring, hantering och transport av gasol. Det är tre centrala myndigheter som i huvudsak ansvarar för skyddsbestämmelser inom gasolområdet. SÄI ansvarar för Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE) [3]. SRV är central tillsynsmyndighet för bl a frågor om räddningstjänst och landtransporter av farligt gods. Enligt Räddningstjänstlagen (RäL) [4] utövas den centrala tillsynen över den kommunala räddningstjänsten av SRV. Enligt förordningen om transport av farligt gods är SRV transportmyndighet ifråga om landtransporter. Arbetskyddsstyrelsen (ASS) ansvarar för Arbetsmiljölagen [5]. Ramlagar är allmänt hållna och saknar vanligen detaljregleringar. Ovanstående regelverk kompletteras med respektive myndigheters föreskrifter och allmänna råd. Det förekommer även att branschorganisationer ger ut standarder, normer eller anvisningar som på ett mer detaljerat sätt visar hur en föreskrift kan uppfyllas.

Nedan redovisas ett urval av de regler som har störst betydelse för lagring och transport av gasol. En utförligare sammanställning finns bl a i SGF:s publikation Större gasolanläggningar [6], men för att vara helt säker på att gällande bestämmelser tillämpas bör alltid respektive myndighet kontaktas.

Avstånd mellan tank och omgivande byggnader beskrivs i SÄI:s SIND:FS 1981:2 [7]. Mängd lagrad vara styrs också i SÄI:s SIND:FS 1981:2 samt i vissa fall av AFS 1989:6 [8].

SIND:FS 1983:2 [9] berör klassning av explosionsfarligt utrymme till vägledning för val av elektriska installationer. I standarderna SS 421 08 20 [10], SS 421 08 21 [11] och SS 421 08 22 [12] beskrivs mera detaljerat hur SIND:FS 1983:2 kan uppfyllas.

Tryckkärlsnormen [13] styr vilka material som får användas till tryckkärl. Praktisk information om konstruktion och dimensionering av tank, säkerhetsventil (tryckavlastningsventil) etc beskrivs i Tryckkärlskommissionens publikation Cisternanvisningar III [14], som ger exempel på godtagbara lösningar.

Tidigare har endast behållare i stål eller aluminium varit godkända, men från 1994 är även 6 kg gasolbehållare i kompositmaterial tillåtna [15]. Eventuellt kommer även större storlekar att godkännas.

SGF har gett ut två anvisningar kallade Mindre gasolanläggningar [16] och Större gasolanläggningar [6]. Det finns även företag som ger ut liknande anvisningar [17].

Vad gäller internationell transport har Sverige anslutit sig till överenskommelserna för vägtransport, ADR för järnväg, RID samt för sjöfart, IMDG. Utformningen av transporttankar för gasol regleras i ADR, RID men även i IMDG vad gäller sk tankcontainrar. I ADR finns bestämmelser då det gäller tilläggskraven för transport av farligt gods. Speciella krav ställs enbart för fordon som transporterar tankar över 3 m³ och det är då främst elsystem, bromssystem och antändningsrisker i hytt, bränsletankar, motor och avgassystem som regleras.

Nationellt har svenska myndigheter utfärdat följande föreskrifter:

SRVFS 1994:5 Statens Räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S) [18] (gäller från 1995-01-01).

SRVFS 1994:6 Statens Räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg (RID-S)[19] (gäller från 1995-01-01).

SRVFS 1994:10 Statens Räddningsverks föreskrifter om internationell transport av farligt gods på väg (ADR) [20] (gäller från 1995-01-01).

SRVFS 1994:11 Statens Räddningsverks föreskrifter om internationell transport av farligt gods på järnväg (RID) [21] (gäller från 1995-01-01).

SÄIFS 1985:5 SÄI:s kungörelse med föreskrifter om ändring av SIND:FS 1981:3 [22].

SÄIFS 1990:2 Föreskrifter om hantering av brandfarliga gaser och vätskor i anslutning till vissa transportmedel samt Allmänna råd [23].

4 Tillsyn och internkontroll

Ansvar för att en gasolanläggning är säkert utformad samt att dess underhåll och kontroll skötes på ett lämpligt sätt vilar alltid på ägaren. Det är bra att ägarens ansvar görs mer tydligt än det varit tidigare. Samtidigt innebär det under en period att en pedagogisk insats krävs av experter och myndigheter att förklara för ägaren vad dennes ansvar innebär och hur egenkontrollen bör skötas. Egenkontroll har blivit lite av ett modeord vad gäller skydd och säkerhet. I förordningen om brandfarlig vara finns ett krav på att det alltid finns en föreståndare som skall ha kunskap och befogenhet att hålla anläggningen i säkert skick. Olyckan i Emmaboda 1992 aktualiserade behovet av egenkontroll på gasfassidan, samt vikten av att räddningsnämndens representanter vid tillsynerna kollar upp att egenkontroll utförs. Som ett stöd för byggnadsnämndernas tillståndshantering och räddningsnämndernas tillsyn har SAI utfärdat ett informationsblad med förslag på formuleringar och några enkla checklistor med hänvisningar till regler [24]. Dessa checklistor kan även användas som underlag för internkontroll varför två sidor inkluderats i denna rapport som bilaga 2.

Som underlag för egenkontroll kan också användas t ex SBF:s rekommendationer för industrins gasolanläggningar [25] eller SGF:s anvisningar [16, 6]. Det är mycket viktigt för den totala säkerhetsnivån att god sed för anläggningsutformning och installationer följs. Det finns ett lagstadgat krav på besiktning av främst vätske-fassidan på gasolanläggningar. Detta krav regleras i Arbetsmiljölagen, med detaljerade krav i AFS Tryckkärl. Sådan besiktning utförs av SA.

Flera svåra gasololyckor inom industrin på 60-talet ledde till omfattande besiktningar av stora gasolanläggningar i början av 70-talet. Besiktningarna ledde i sin tur till att man i flera fall tvingades flytta på olämpligt placerade tankar, lossningspumpar, flaskfyllningsramper och andra anläggningsdelar [26]. Erfarenheterna utmynnade senare i en handbok för gasolanläggningar, utgiven av SBF 1977, och senare reviderad i samarbete med Svenska Petroleuminstitutet 1984 [25].

Från och med den förste juli 1989 har räddningsnämnderna ansvaret för tillsyn enligt lagen om brandfarliga och explosiva varor, utom på en del större objekt som fortfarande SAI sköter tillsynen på. Tillsyn är ett begrepp som innefattar den lagstadgade inspektionen för att säkerställa att LBE följs. Tanken är att tillsynen kan ske samtidigt med ordinarie brandsyn som är motsvarande inspektion enligt RÄL och normalt görs med ett till fyra års mellanrum. Vid bestämmandet om brandsyneintervall prioriteras byggnader med oskyddade personer och inte nödvändigtvis anläggningar med gasolinstallationer. Det kan därför vara aktuellt att ha tillsyn oftare än brandsyn på en del objekt. Det finns rekommendationer från SAI gällande tillsynsintervall, men det är kommunens räddningsnämnd som fattar besluten. I tabell 1 framgår hur verksamheten utvecklats inom kommunerna. Fortfarande 1992 var inte alla tillsynsobjekt identifierade, men det slutliga antalet bör hamna kring 10.000. Det är osäkert hur många tillsyner som kommer att hinnas med per år, men då räddningstjänsten i alla kommuner idag inte hinner med alla sina brandsyneobjekt så kommer troligen inte tillsynen enligt LBE att kunna göras till 100 % heller.

Tabell 1 Tillsyn enligt LBE i kommunerna. Tabellen innehåller uppgifter från SÄI:s verksamhetsberättelser om all brandfarlig vara, dvs både brandfarliga vätskor och gaser [27 - 29]

År/antal kommuner	1990/284	1991/284	1992/287
Antal kommuner som rapporterat	121	173	251
Antal kommuner som gjort tillsyn	77	150	"de flesta"*
Antal identifierade objekt	3711	6200	9400
Antal tillsyner	848	2260	3720
Antal förelägganden	206	473	771
Antal hanteringsförbud	0	7	18

* citat ur SÄI:s verksamhetsberättelse 1992 [29]

5 Värmepåverkan

I detta kapitel behandlas såväl själva uppvärmningen av en gasoltank som olika skyddssystemens konsekvenslindrande inverkan. Dessutom tas modellering av dessa förlopp upp.

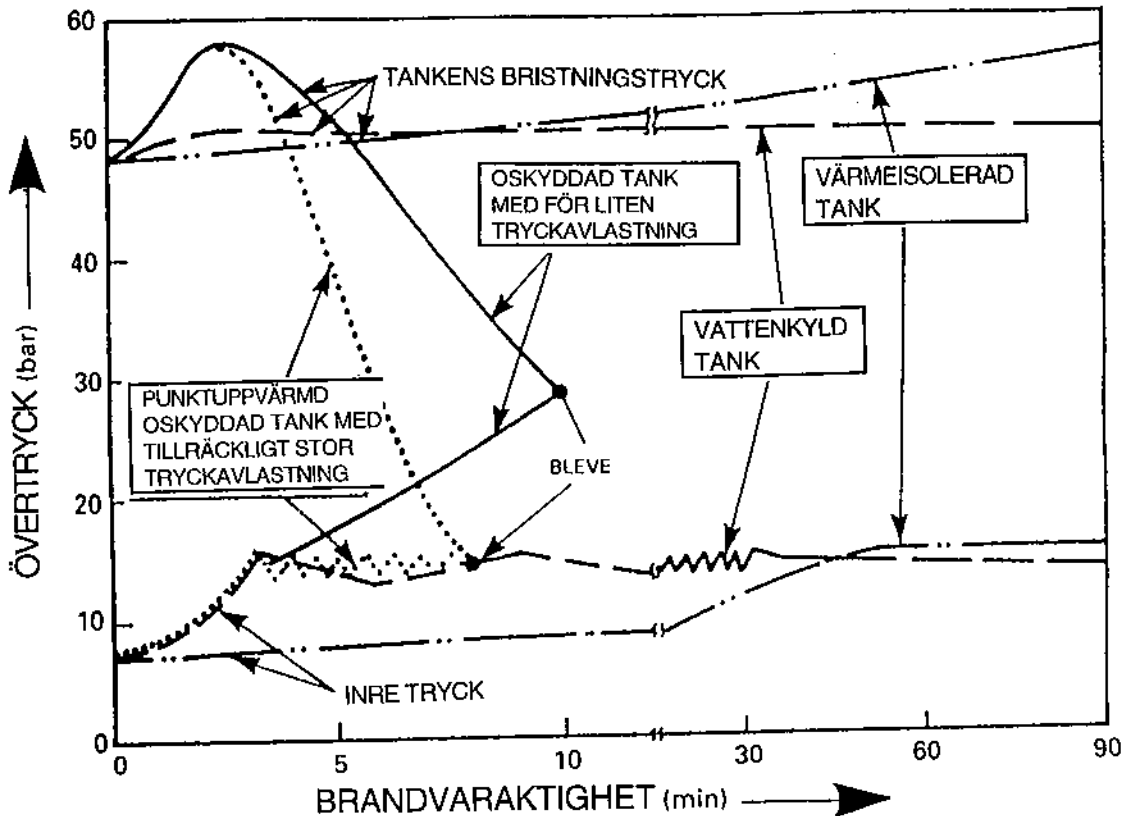
Det förekommer en hel del uppgifter om strålningspåverkan och värmepåverkan i varierande nivåer. Som en jämförelse visas i tabell 2 effekterna av några olika strålningsnivåer, i ett utdrag hämtat från utbildningsmaterial för brandinspektörer [30]. SR har gjort den erfarenheten att 50 kW/m² sammanfaller med lågans utbredning för jetflamnor. Vid stora poolbränder eller eldklot efter en Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) kan dock högre strålningsnivåer än 50 kW/m² uppnås utanför flammans utbredningsområde.

Tabell 2 Effekten av olika strålningsnivåer

Strålning [kW/m ²]	Observerad effekt
1	Maxnivå för oskyddad hud
6,4	Smärta efter 8 s vid hudexponering
12,5	Pyrolys av trämaterial, antändning med liten flamma
29	Trä antänds utan närvaro av flamma
52	Träfiberskiva antänds efter 5 s utan närvaro av flamma

En bra sammanfattande rapport skrevs av Moodie 1988 [31]. Rapporten beskriver på ett sakligt och ingående sätt de experimentella verksamheter som bedrivits, samt om modellering av brandpåverkade tankar och olika skyddssystem. Något senare sammanställningar har gjorts i Kanada [32, 33] men de förklarar inte sammanhangen och problemställningarna lika bra. I sammanställningen från 1991 [33] finns även en då uppdaterad jämförelse mellan de datorsimuleringsprogram för brandpåverkan på gasoltankar som utvecklats av organisationer i olika länder.

Uppvärmningen av en sluten behållare innehållande tryckkondenserad gas kan leda till kärleksprängning. Det fysikaliska fenomen som uppstår då överhettad vätska mycket snabbt övergår i gasfas med en följande tryckstöt kallas Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. BLEVE kan uppstå på i princip två olika sätt, dels p g a ökat inre tryck och dels p g a försvagning av tankstålet. Det första fallet kan uppstå då behållaren utsätts för en relativt jämn inte nödvändigtvis så hög termisk belastning. Om tryckavlastningsventilen är för liten och värmepåverkan tillräckligt hög rämnar behållaren då dess hållfasthet överstigs. Detta åskådliggörs i figur 1, kurvan "oskyddad tank med för liten tryckavlastning". Förloppet då tankens innehåll har hög energi leder vid tankbrott och antändning till ett eldklot som kan resa sig flera hundra meter upp i luften. Detta kallas i fortsättningen varm BLEVE. För att detta skall kunna inträffa skall tankväggens temperatur vara förhållandevis jämn och tankbrottet beror alltså i högre grad på inre tryckökning än på försvagning av tankens hållfasthet.



Figur 1 Figuren visar tid-tryck historien från olika storskaliga försök med gasoltankar från en BAM-rapport [34]. De övre kurvorna visar tankens bristningstryck (hållfasthet) och de undre visar det inre trycket i tanken. När dessa möts håller inte tanken längre utan en BLEVE blir resultatet

Det andra fallet som kan leda till en BLEVE uppstår om behållaren utsätts för en punktformig kraftig uppvärmning av den del av behållaren som inte kyls av vätskefasen. Behållarens hållfasthet minskar lokalt vid höjd temperatur och behållaren brister, se figur 1, kurvan "punktuppvärmd oskyddad tank med tillräcklig tryckavlastning". I extrema fall kan tanken brista innan tryckavlastningsventilen hinner öppna. Om tankens innehåll vid brottet inte tagit upp så mycket energi blir det en pannkaksformad utbredning på molnet med en större eller mindre topp på mitten. Detta fenomen kan kallas kall BLEVE.

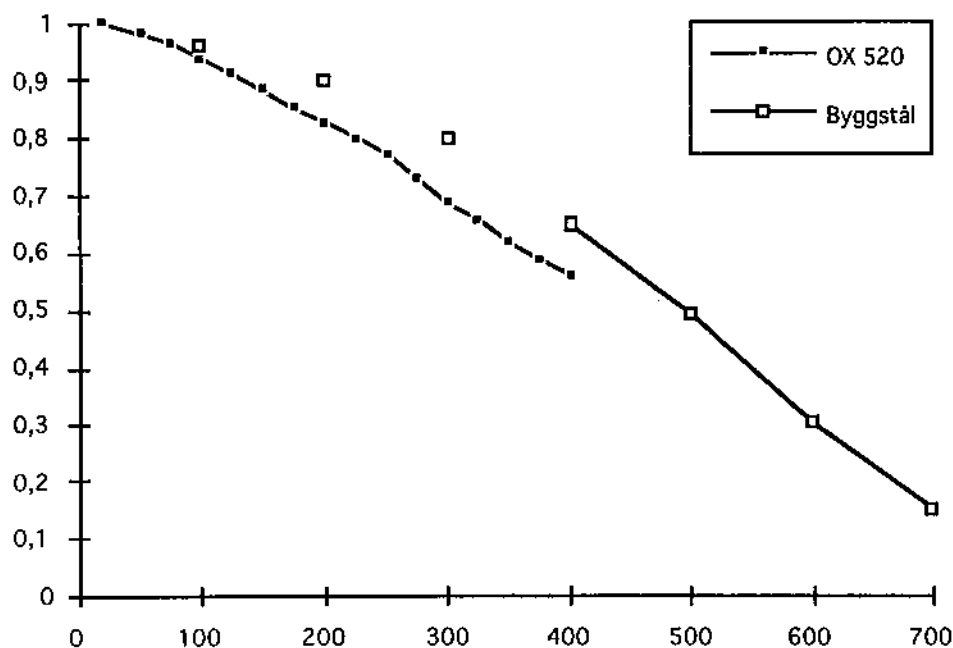
Observera att BLEVE är ett explosionsförlopp som inte kräver brännbara produkter i tanken. Om det som finns i behållaren är en brännbar gas liksom gasol är kan dock en BLEVE även åtföljas av antändning med ett "eldklot" eller en "pannkaka" som följd beroende på graden av uppvärmning av tankens innehåll.

De flesta tryckkondenserade gaser som används industriellt är antingen brännbara, giftiga eller båda delar.

Det finns ett antal olika teorier för att försöka beskriva och karakterisera fenomenet BLEVE. Småskaliga försök har gjorts i 1 liters tryckkärl och i rör med freonerna R12 och R22 [35]. Här visades att det efter att ett hål uppstått bildas en undertrycksvåg som sedan följs av en övertrycksvåg vars maxvärde kan vida överstiga ursprungstrycket i tanken. Häftigheten i explosionen är beroende på det initiala undertrycket som i sin tur beror på hålstorlek och grad av överhettning i gasen.

Vid försök i burkar, s k pop-cans [36], såg man indikationer på andra möjliga felmoder och myntade ett nytt uttryck, Boiling Liquid Compressed Bubble Explosion (BLCBE). Man varnar för att tryckavlastningsventiler i sig kan vara orsak till BLCBE, som kan beskrivas som ett inre tryckslag orsakat av plötslig kokning då tryckavlastningsventilen öppnar, följt av implosion av gasbubblorna då de kyls ned igen. Vid besöken i Storbritannien och Tyskland ansåg man dock dessa teorier vara något tilltagna och trodde att de observerade effekterna snarare berodde på förbättrad vetenskaplig teknik med bl a användning av höghastighetsfotografering.

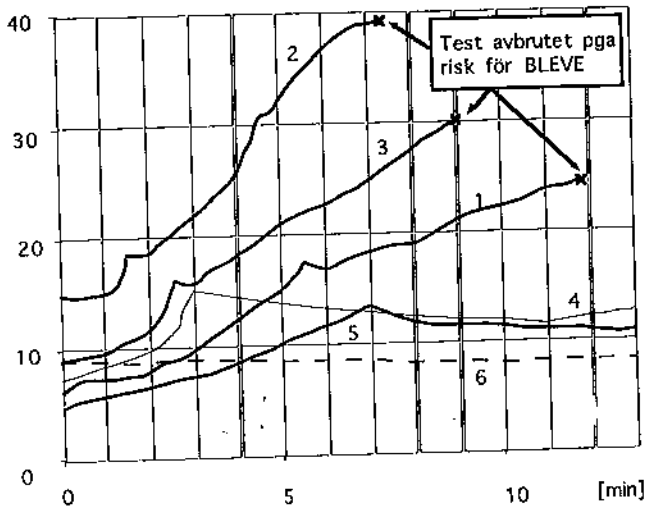
Tankväggens hållfasthet minskar då stålet uppvärms vilket framgår av de övre kurvorna i figur 1. Figur 2 visar sträckgränsen som funktion av temperaturen för ett typiskt tankstål, OX 520 samt för byggstål då inga uppgifter för tankstål vid högre temperaturer än 400 °C påträffats. Observera att grafen visar den relativa förändringen varför OX 520 sannolikt har en högre hållfasthet än byggstål. Tankens hållfasthet bestäms även av andra faktorer som materialets brottgräns och de säkerhetsmarginaler som tillämpas vid dimensioneringen av tryckkärl. Jämför med figur 1 som visar att hållfastheten kan öka vid brandpåverkan.



Figur 2 Sträckgränsen för ett tankstål, OX 520 samt vanligt byggstål som funktion av dess temperatur. Sträckgränsen är uttryckt som Sträckgränsen vid x-axelns temperatur dividerat med dess hållfasthet vid 20 °C [37]

I framför allt Tyskland och Storbritannien har det genomförts en mängd stor-skaliga försök med både skyddade och oskyddade gasoltankar. En generell slutsats som kan dras utifrån dessa försök är att tryckavlastningsventiler dimensionerade som i Storbritannien, dvs för en brandpåverkan på 100 kW/m² ger ett gott skydd mot tankbrott så länge inte branden orsakar upphettning av stålet till över 600 °C samt så länge tanken står kvar upprätt. Den tyska modellen med en tryckavlastning dimensionerad endast för överfyllnad leder till att en farlig situation nås redan vid 300 - 400 °C tankväggstemperatur. Det viktiga enligt tidigare resonemang är ju att bibehålla tankens hållfasthet över gasens interna tryck. Därför är det intressant att jämföra tryckutvecklingen ifrån olika försök i samma graf vilket visas i figur 3.

[bar]



Nr	Skydd	Storlek	Fylln grad	Start-temp	Ref.
1	oskyddad	4,85 m ³	50 %	10 °C	38
2	oskyddad	4,85 m ³	50 %	37 °C	38
3	oskyddad	4,85 m ³	50 %	26 °C	38
4	vatten 6,7 l/min	4,85 m ³	20 %	15 °C	39
5	tryck- avlastnin g	5 ton	22 %	ca 10 °C	40
6	100 mm min. ulls isolering	4,85 m ³	20 %	8 °C	38

Figur 3 Tryckmätningar från olika poolbrandförsök (80 - 100 kW/m²) med större trycktankar utomhus i full skala under varierande miljöförhållanden. Vissa intressanta data presenteras i tabell 3. Kurvorna är avritade från olika rapporter, dock inte exakt i detalj. Huvuddragen som illustrerar resonemangen i texten är dock riktiga. Samtliga försök har utförts av BAM i Tyskland utom nr 5 som utförts av HSE i Storbritannien

Försök 1 - 3 i figur 3 avbröts då man ansåg att tankväggens temperatur blev för hög i förhållande till tankens inre tryck. I försöken 4 - 6 som illustrerar användningen av olika skyddsmetoder fortsatte brandpåverkan under väsentligt längre tid än vad figuren visar. Som framgår av försök 1 - 3 i figur 3 så har vätskefasens ursprungstemperatur stor betydelse för tryckkuppbyggnadshastigheten efter att tryckavlastningsventilen öppnat. Observera att tryckavlastningsventilen enligt tyska regler dimensioneras för att skydda vid överfyllnad inte mot värmepåverkan från brand. Tryckgradienterna är 1,8 bar/min i försök 1, 2,6 bar/min i försök 3 och 4,1 bar/min i försök 2. Orsaken till detta fenomen är enligt BAM [38] att förångningsvärmnet minskar med ökande temperatur. Vid dessa försök gick tanken till BLEVE då tankväggen nådde temperaturer mellan 300 °C och 560 °C.

I Storbritannien har det gjorts ett stort antal försök med tankar. De tidigaste gjordes med 1/4 - ton och 1-tons tankar [41]. Senare följdes dessa upp med fem försök med en 5-tons tank med fyllnadsgraden varierande mellan 22 och 72 % [40]. Tanken tilläts aldrig gå till BLEVE utan försöken avbröts då tankväggens temperatur blev för hög, 570 - 660 °C, vilket inträffade efter knappt 12 minuter vid 22 % fyllnadsgrad och 30 minuter vid 72 %. Ju lägre fyllnadsgraden var ju kortare tid tog det alltså innan försöken avbröts. Tanken hade två tryckavlastningsventiler, vilka sannolikt hade högre kapacitet än om de dimensionerats enligt CA III och trycket i tanken översteg aldrig 15 bar.

I Kanada har det bedrivits intensiv forskning om gasol de senaste årtiondet. Det har gjorts försök att modellera tryck- och temperaturutvecklingen för tankar som utsätts för brand. I sin modell har kanadensiska National Research Council Canada (NRC) inkluderat den termiska stratifieringen i tankens vätskedel. Tankar med fem olika diametrar från 0,6 till 2,7 m har undersökts [42]. Simuleringarna visar att en mindre tank snabbare når så högt tryck att tryckavlastningsventilen öppnar.

I en senare vidareutveckling som presenteras av NRC [43] undersöks partiell brandpåverkan på tankar. Logiskt sett kommer man fram till att påverkan på en större del av tanken leder till snabbare temperatur- och tryckhöjning, samt att påverkan mot tankens gasfyllda övre del är farligare än om branden påverkar de delar som kyls av vätska i form av kondenserad gas. Birk redovisar en liknande modell framtagen för tågagnar, främst avsedd för utvärdering av olika skydds-metoder [44], och NRC en modell för värmetransport in till gasbehållare i fartygsskrov [45].

Med modellen HEATUP, framtagen av SR kan fullständig påverkan från spillbrand på liggande cylindriska tankar modelleras [46]. Genomsnittliga gas-, vätske- och tankskalstemperaturer visar god överensstämmelse med storskaliga försök, liksom tryckavlastningsventilens funktion.

I Storbritannien har även Safety and Reliability Directorate (SRD) utvecklat en samling av datormodeller kallade ENGULF II för att simulera hel eller delvis brandpåverkan på en gasoltank [47]. I modellen kan även jetbränder simuleras samt isolering av tanken.

Det ovan beskrivna arbetet har till allra största delen behandlat uppvärmning av tankar p g a ett vätskespill under tanken, eller en brand strax intill. Ett helt annat scenario erhålls om branden istället är en s k jetbrand som direkt träffar tankytan. Jetbränder kan ha sitt ursprung i ett rörbrott eller i det antända utsläppet från egen eller ett annat tryckkärls tryckavlastningsventil. Dessa bränder har påverkansnivåer och värmeövergångstal som är mycket höga samtidigt som jeten har en mycket kraftigt eroderande verkan. Den forskning som bedrivits initierades efter den allvarliga olyckan på oljeplattformen Piper Alpha, då just jetbränder var orsaken till det snabba och katastrofala händelseförloppet.

I ett EU-finansierat projekt gjordes ett 20-tal jetbrandsförsök med gasolflöden i tvåfas från 1,5 till 18 kg/s. Försöken visar på mycket hög värmepåverkan, momentant 300 kW/m² och i genomsnitt upp till 250 kW/m². Enligt Davenport är det för närvarande omöjligt att med någon större exakthet förutsäga värmepåverkan från en sådan här brand mot ett objekt även om bränsleflödet är känt. I framtiden tros det bli möjligt att göra datorberäkningar med hjälp av så kallade CFD-modeller, men för närvarande är sådana för tidskrävande för att kunna användas i någon större grad. Davenports rapport [48] utgör en vidare bearbetning av mer utförligt material som redovisades för CEC 1991 [49].

SR har också utfört en försöksserie med jetbränder mot skyddade och oskyddade stålkomponenter [50]. Rör och I-balk av stora dimensioner skyddades med cementliknande och svällande skyddsmassor, och provades med naturgas- och tvåfas gasolbränder. Oskyddade rör nådde temperaturer på 600 °C inom 3 - 4 minuter medan skyddade rör och balkar klarade sig mycket bra med temperaturer mellan 200 och 400 °C efter 60 minuter, förutom en balk där skyddsmaterialet började falla av efter knappt 45 minuter och temperaturen sedan steg snabbt.

En internationell konsultfirma Technica har publicerat en rapport med beskrivning av modell och datorprogram för uppskattning av strålningsnivåer från jetbrand, poolbrand eller BLEVE [51].

5.1 Dimensionering av tryckavlastning

Tryckavlastningsventilen kan dimensioneras på olika sätt beroende på om man vill skydda mot överfyllnad eller mot brand. Av denna anledning samt då en tryckavlastningsventil inte kan garantera säkerhet mot tankbrott vid brand har i stället begreppet "tryckavlastningsventil" använts i denna rapport.

I Tyskland dimensioneras ventilen med hänsyn till överfyllnad, medan ingen hänsyn tas till brandpåverkan. I Sverige dimensioneras liksom i USA och Storbritannien ventilen med hänsyn tagen till viss brandpåverkan. Den värmepåverkan som utgör underlag för beräkningen av ventilens flödeskapacitet i CA III är hög, 43,6 kW/m², men inte på något sätt den maximala som en tank kan utsättas för. Däremot är den avpassad så att den dimensionerande värmepåverkan är den maximala innan filmkokning uppstår. Filmkokning innebär att gasen kokar lokalt på tankväggens insida, varvid en avsevärt sämre värmeövergång till vätskemassan uppnås. I Storbritannien tillämpas ett högre värmeflöde, 100 kW/m², enligt en rapport från 1988 [40] eventuellt numera höjt till 130 kW/m² då denna siffra nämndes vid besöket på HSE 1993. Värmeflöden i området kring 100 kW/m² är typiska för de försök som gjorts med poolbrand och representerar alltså ett värsta fall om jetbrand undantas.

I Sverige har vi krav på att även tågagnars och lastbilars transporttankar skall förses med tryckavlastningsventiler. Därigenom skiljer sig den svenska filosofin från den förhärskande inom Europa där sådana ventiler är förbjudna utom i Storbritannien. Anledningen till förbudet är att värmepåverkan från sol och varm luft i genomsnitt är så mycket högre och att man då inte vill att tryckavlastningsventilerna skall släppa på trycket okontrollerat. Enligt FOA:s studie av tågagnars med och utan tryckavlastningsventil [52] beror förbudet också på att man i vissa länder inte anser att det finns tillräckligt fasta normer för konstruktion etc.

I Sverige används enligt uppgift från SGF i allmänhet s k höglyftande tryckavlastningsventiler. Kännetecknande för höglyftande ventiler är att de går från stängt till öppet läge nästan momentant. Direktverkande ventilers öppningsgrad däremot varierar med nivån av övertryck. Den höga ljudnivån från en öppen tryckavlastningsventil bör vara känd av både insatspersonal och räddningstjänsten så att man inte automatiskt tolkar den som ett förebud för omedelbart tankbrott.

En höglyftande tryckavlastningsventil som öppnar och stänger intermittent kan tolkas som att trycket i tanken hålls någorlunda konstant. Tankväggens temperatur blir då bestämmande för graden av fara. Om tryckavlastningsventilen däremot är konstant öppen bör detta som en försiktighetsåtgärd tolkas som att trycket är ökande och att därmed även sannolikheten för tankbrott ökar. En konstant öppen ventil kan dock även bero på andra orsaker t ex att det är en s k direktverkande ventil som öppnar olika mycket beroende på trycket, eller på försvagning av mottrycksfjäders p g a uppvärmning men en sådan bedömning är svår att göra vid en brand.

Genom att avlasta från gasfasen kan en avsevärd större mängd energi avlägsnas från tanken än om motsvarande volym gas i vätskefas skulle avlägsnas. Detta grundar sig i att förångningsvärmets är så stort i förhållande till den specifika värmekapaciteten.

Tryckavlastningsventiler dimensioneras utifrån deras kapacitet för enfas flöde. Då en tryckkondenserad gas strömmar ut är risken stor att utflödet blir ett s k tvåfasflöde, dvs att både gas och vätska samtidigt strömmar ut. Kapaciteten blir då avsevärt lägre än vid enfas strömning, s k kritiskt flöde uppstår (på engelska choked flow). I ett EG-program kallat Major Technological Hazards har datormodellen FLIERS tagits fram för beräkning av källtermen vid flerfasutflöden från såväl enkla som komplicerade geometrier [53].

I en del kondenserade gaser kan då tryckavlastningsventilen öppnar kokning uppstå i hela vätskemassan samtidigt. Då fylls alltså hela volymen av en tvåfasblandning som eventuellt når upp till tryckavlastningsventilen. Gasol utvidgas normalt inte så mycket, volymen ökar erfarenhetsmässigt 1-2 % då tryckavlastningsventilen öppnar [54]. Om en tank inte står upprätt så är tvåfasflöde vid något tillfälle högst troligt. Vid uppvärmning av endast en sida av en tank cirkulerar vätskan varför kokningseffekten blir marginell.

Vid sina försök med gasoltankar beskrivna i kap. 5 har HSE även undersökt tryckavlastningsventilernas funktion [55]. Genom att ställa tanken på en våg under försöket har utsläppet genom tryckavlastningsventilen mätts. Försöken indikerar att för en 5 tons tank uppstår en form av tvåfasflöde om fyllnadsgraden överstiger 50 %, medan det för mindre tankar kan uppstå vid ännu lägre fyllnadsnivåer. Tvåfasflödet kommer av att den utströmmande gasen river med sig droppar från den kokande vätskemassan, s k "carry-over". Att tryckavlastningsventilerna inte är dimensionerade för tvåfasflöde anser dock HSE vara ett mindre problem än uppvärmningen av tankväggen.

Tryckavlastningsventilen har en annan mycket viktig funktion om det inte brinner. Den skall blanda utsläppet med luft till en gaskoncentration under undre brännbarhetsgränsen. Samtidigt skall den vid brand inte ge överljudsutsläpp ty då kan lågan bli för instabil, dvs om utsläppet antänds kan lågan lätt slockna. I andra rapporter från HSE [56 - 58] har man närmare undersökt den grundläggande fysiken för ett utsläpp från en ventil, och hur långt rörelsemängd och koncentrationsfält sträcker sig.

En amerikansk referens med stor erfarenhet från petroleumindustrin poängterar att tryckavlastningsventilen endast är en, dock mycket viktig, del i skyddet av tankar [59]. Dokumentet är inte begränsat till enbart gasolgaserna utan behandlar tryckavlastning och tankintegritet allmänt. Politz [59] hänvisar även till en intressant men inte undersökt referens som diskuterar dimensionering av tryckavlastningsventiler för tvåfasflöde [60]. I äldre artiklar från början av 70-talet diskuteras det vilken fas som skall tas ur tanken för optimal tryckavlastning [61]. Senare rön säger dock otvetydigt att det är gasfasen som är optimal för att sänka tankens energiinnehåll.

I en FOA-rapport [52] redovisas en beskrivning över jvg-vagnar samt vägtransporttankar som används i Sverige. Olika utsläppstypfall har analyserats med avseende på konsekvens och sannolikhet. En generalisering i rapporten som med hänsyn till andras erfarenheter får anses felaktig är att tryckavlastningsventilen alltid skyddar mot ett tankbrott oavsett brandpåverkan.

EG-programmet CLOUD har som mål att modellera ett tvåfasutflöde i tre dimensioner efter att det nått till omgivningen, samt att ta fram en snabbkörd PC-kod för beräkningar [62].

HSE har undersökt kritiska tvåfasflöden i rör för överhettade gaser [63] och NRC har tittat närmare på tvåfassetvällning hos vätskor och inblandning vid utströmning genom tryckavlastningsventil [64].

Hos SR finns långt framskridna planer på att genomföra försök med tvåfasutflöde med propan med syfte att mera exakt kunna dimensionera tryckavlastningsventiler. I övrigt är alla ventilers kapacitet uträknad utifrån enfasflöde med vatten. American Petroleum Institute (API) lär ha gjort försök med propan i tryckavlastningsventiler, men det var troligen ganska länge sedan.

SA är s k Riksprovplats, och arbetar med att granska ritningar och dimensioneringsunderlag samt att besiktiga anläggningar där så krävs enligt AFS Tryckkärl [65]. Vid samtal med Börje Stens (BS) vid SA har framkommit information som är av intresse för denna rapport [66]. Tryckkärlskommissionen reviderade 1991 Cisternanvisningar III [14] då det visat sig att en formel i den tidigare versionen som gällt sedan 1973 var felaktig. Den felaktiga formeln resulterade i en dimensionering av tryckavlastningsventilens kapacitet som understiger den nu gällande med 35 %. Dessutom var informationen om dimensionering av växelventil bristfällig. Enligt den nya Cisternanvisningar III får motståndet över växelventil högst vara 3 % av säkerhetsventilens öppningstryck. I en del fall tidigare, har växelventiler dimensionerats så att tryckfall på upp till 50 % erhållits. Inget krav på retroaktiv uppgradering av tryckavlastningsventiler eller växelventiler har ställts av myndigheterna.

Den metodik för dimensionering av tryckavlastningsventiler som beskrivs i Cisternanvisningar III är hämtad från American Petroleum Institute (API), som förutsätter att tryckkärlet är dimensionerat enligt ASME:s regler. Skillnaden är att i Sverige dimensioneras hållfastheten för en tank mot sträckgräns, medan man enligt ASME dimensionerar både mot sträckgräns och brottgräns. Den svenska dimensioneringsmetoden ger enligt BS tankar med mindre godstjocklek.

Det är svårt att jämföra säkerhetsnivån som uppnås genom olika länders skiftande regler. I en brandsituation samverkar faktorer som tryckavlastningsventilens storlek och utformning, materialet i tankväggen och tankväggens tjocklek. Olika kombinationer kan ge varierande fördelar eller nackdelar beroende på vilken typ av brand de utsätts för.

5.2 Passiva skyddssystem

Passiva skyddssystem är att föredra framför aktiva då de varken kräver någon manuell handling eller att några automatiska system skall fungera. Av denna anledning har de i denna rapport placerats framför de aktiva systemen. Tryckavlastningsventiler är ett mellanting mellan passiva och aktiva system, varför dess funktion diskuterades i det föregående kapitlet.

5.2.1 Skyddsavstånd och säkerhetsavstånd

I SIND-FS 1981:2 [7] ges allmänna råd för vilka avstånd som lägst skall upprätthållas gentemot omgivningen, s k skyddsavstånd, samt inom anläggningen, s k säkerhetsavstånd.

Som framgår av tabell 4 nedan så tar skyddsavståndet hänsyn till två olika problem. Dels att skydda tanken från värmepåverkan från en byggnad i närheten som brinner, och dels att skydda byggnader där många och sårbara personer normalt vistas.

En möjlighet för framtiden vore att renodla tabellen till två funktionskrav. Exempelvis att tanken skall förläggas så att brand i omgivande byggnad inte kan ge större termisk påverkan än, säg 15 kW/m^2 på tanken. En sådan strålningsnivå ger pyrolys av trä och plastmaterial men ingen antändning utan pilotlåga.

Författarna anser att avståndet till samlingslokaler o dyl bör grunda sig på de influensområden som kan härledas ur en konsekvensanalys. Som framgår ur det material som presenteras i kapitel 7 är värmepåverkan från eldklot, kringflygande fragment samt utsläpp med fördröjd antändning konsekvenser som kan sträcka sig långt utöver de avstånd som idag tillämpas. Om hänsyn tas till sannolikheterna för sådana händelser kan man argumentera för att avstånden minskas, men det är inte troligt att så stora konsekvenser som det här kan handla om kan accepteras, oavsett frekvens.

I tabell 5:4 i SIND-FS 1981:2 specificeras säkerhetsavstånden inom en anläggning. Generellt sett anser författarna att avstånd som är till för att förhindra värmepåverkan på en tank bör vara samma inom en anläggning som de är gentemot omgivningen, vilket de inte är idag. Vad gäller värmepåverkan mellan tankar och cisterner så beskrivs detta problem utförligare i ett BRANDFORSK-projekt som för närvarande pågår på SP. Generellt sett så låter det sig inte göras att ha så långa avstånd mellan tankar att brandpåverkan helt kan uteslutas. Det är därför viktigt att känna till de möjligheter till ökat skydd som föreligger med användande av olika passiva och aktiva metoder. Värmeutbytet mellan flammor och ytan på en tank har också modellerats av NRC [67, 68].

Tabell 4 Avskrift av tabell 5:3 ur SIND-FS 1981:2 som beskriver skyddsavstånden från cistern och gasflaskor

Kringliggande bebyggelse	Gascistern	Gascistern eller gasflaskor med en rymd	
	under 4 m ³	4 - 100 m ³	över 100 m ³
Byggnad i allm., icke brandfarlig	6	12	25
Byggnad i allm., brandfarlig	12	25	50
Jordbruks ekonomibygnad med tillhörande förråd o d	25	25	50
Skola, samlingslokal, sjukhus, trafikknut o d samt gasklocka	25	50	50
Särskilt brandfarlig byggnad, sammanhängande trähusbebyggelse, brandfarlig industri, brädgård o d	25	50	100

Av kapitel 6 framgår också att man vid de olyckor och tillbud som varit svårbe-
mästrade ofta haft problem med läckage från långa osektonerade rörsektioner
eller direkt från armatur vid tanken som lett till lokal påverkan.

5.2.2 Nedgrävning och kasuner

Att gräva ner eller jordtäcka tankar ger en hög isolerande effekt mot omgivningen, SIND-FS 1981:2 anger 0,25 m som minsta tjocklek. I Tyskland har man som krav att alla nya tankar skall grävas ned med minst 0,5 m jordtäckning. Nedgrävning innebär dock ett potentiellt korrosionsproblem och försvårar även besiktning.

Som tidigare nämnts är jordtäckning ett möjligt tillvägagångssätt för att isolera. En beskrivning av tekniken för "mounding" beskrivs av Cascarino [69]. Mounding innebär att tanken ställs upp på marken och sedan höljs över med sand och jord. Tanken skall alltså stå lika högt som eller högre än omgivningen. Enligt författaren är detta ett ekonomiskt alternativ.

Ett tredje alternativ som används på en del ställen i Sverige är att bygga underjordiska kasuner i vilka tanken förläggs. Detta tillvägagångssätt innebär dock att även ett mindre läckage kan leda till stora problem. Om man är tvungen att gå ned i kasunen för att åtgärda läckaget, är detta svårt att göra med full personsäkerhet. Det förekommer även att leverantörer vägrar leverans till sådana anläggningar.

5.2.3 Skydd genom isolering

Ett sätt att skydda gasoltankar med hög tillförlitlighet är genom isolering. Isolering ger ett ständigt tillgängligt passivt skydd. Som nämntes i kapitlet ovan grävs alla nya tankar ner i Tyskland idag. Befintliga äldre tankar däremot måste även de skyddas så att de står emot minst 90 minuters brandpåverkan från en poolbrand eller motsvarande (omkring 100 kW/m^2). Vid försök med fem $4,85 \text{ m}^3$ tankar gick de tre oskyddade till BLEVE inom 7-12 minuter, se även figur 3 [38]. De två isolerade tankarna klarade 70 respektive 90 minuters brandpåverkan med högre brandpåverkan. Det försök som pågick i 70 minuter avbröts då en läckande ventil gav upphov till punktuppvärmning av tanken. I originalrapporten [70] beskrivs försöken mera utförligt. I en annan rapport beskrivs två prov, det ena på en $3,6 \text{ m}^3$ tank skyddad med skalbildande färg och en $4,85 \text{ m}^3$ tank skyddad med svällande färg [34]. Även detta skydd motstod 90 minuters brandpåverkan.

Inom off-shore branschen har man identifierat behovet av en provningsmetod för jetbränder mot brandskyddade konstruktioner. Det existerar nu också en intermestisk metod, i huvudsak framtagen på SINTEF i Norge i samråd med en internationell arbetsgrupp [71]. Tidigare har SR i en rapport visat hur två olika skyddssystem som båda klarat ugnsprövning enligt "Hydro Carbon-kurvan" provats med jetbränder av samma typ som använts i ett tidigare projekt [50]. Det ena systemet klarade två timmars exponering utan att den inre temperaturen översteg $300 \text{ }^\circ\text{C}$, medan det andra systemet fallerade inom 20 minuter [72].

I en kanadensisk studie [73] visar genomgång av statistik från olyckor i USA och England att sannolikheten för läckage givet olycka då tankvagn skadas ligger i storleksordningen 4 - 9 %, beroende på om tanken är isolerad eller inte. Isolering minskar läckagerisken med knappt hälften.

Tabell 5 Statistiskt underlag för tågolyckor med gasollastade vagnar enligt kanadensisk studie [73]

Trycksatta behållare	Villkorade sannolikheter	
	oisolerad tank	isolerad tank
Händelse		
Läckage givet större olycka (a)	0,0845	0,0479
Allvarlig brand givet läckage (b)	0,2941	0,2941
Explosion givet allvarlig brand (c)	0,5000	0,5000
Explosion vid större olycka (a) x (b) x (c)	0,0124	0,0070

I Hong Kong har man en extrem situation med mycket stor gasolanvändning mitt inne i staden. Myndigheterna krävde att riskerna skulle minskas och två olika förslag undersöktes, vattenkylning på de ställen där tankbilarna levererar till kunderna, eller isolering. SR gjorde en undersökning som rekommenderade isolering, vilket nu finns på alla distributörens fordon i Hong Kong. I en rapport [49] beskrivs hur undersökningen av olika skyddskoncept gjordes och vilka resultat man kom fram till. Olika egenskaper som tankbesiktning, brandmotstånd, beständighet, adhesion och vattengenomsläpplighet har undersökts och epoxy-material valdes som bästa alternativ.

SR publicerade 1983 en undersökning av nio olika isoleringsmetoder tänkbara för transporttankar [74]. En del av metoderna var kommersiellt tillgängliga medan en del var egna uppfinningar i form av kombinationer med isolering och brand-skyddsfärger. Vid försöken användes en brand i fotogen som gav en påverkan på 134 kW/m^2 . Samma försök har även beskrivits, men något annorlunda, av HSE i ett par rapporter [75, 76].

En möjlighet som inte diskuterats i den litteratur som framkommit i litteraturstudien är att skärma bort värmepåverkan mot en tank med hjälp av tunna plåtar eller liknande som monteras med en luftspalt på någon cm mot tanken. Studier av verkan av en sådan skärm har gjorts i ett BRANDFORSK-projekt som behandlar skydd av formverktyg [77].

5.3 Aktiva skyddssystem

5.3.1 Skydd genom vattenkylning med sprinkler

I Sverige krävs enligt SÄI under normala förhållanden inte någon kylning av cisterner. Vattenkylning krävs gällande endast om tillräckligt avstånd enligt bestämmelserna [7] inte kan upprätthållas eller om tanken är oåtkomlig för manuell kylning. På många svenska gasolanläggningar har efter krav från försäkringsgivare monterats kylsystem dimensionerade för att ge 10 mm/min .

I branschföreningens standard [6] rekommenderas $2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ vid strålningspåverkan utifrån, och $7 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ för brandpåverkan från anläggningen, med hänvisning till tyska försök [39, 78]. Vad man tyvärr missat att poängtera är att man i fallet med $100 \text{ l/m}^2 \text{ h}$ ($1,7 \text{ l/m}^2 \text{ min}$) skyddat tankar mot en infallande strålning på upp till 12 kW/m^2 , men under förutsättning att alla genomföringar är extra noggrant kyllda. För värmepåverkan upp till 55 kW/m^2 gick det att skydda tankarna med ett vattenflöde på $400 \text{ l/m}^2 \text{ tim}$ ($6,7 \text{ l/m}^2 \text{ min}$) under förutsättning att en uppgraderad systemlösning tillämpades med dysorna installerade som en bur runt tanken. Med mera konventionellt system med alla dysor riktade neråt räckte inte till ens vid $1000 \text{ l/m}^2 \text{ tim}$ ($16,7 \text{ l/m}^2 \text{ min}$) för att ge tillräcklig kylning.

Enligt SR [49] måste vattenkylningen sättas igång innan tankväggen når $100 \text{ }^\circ\text{C}$ vilket kan ta från 20 sekunder och uppåt. Bray däremot rekommenderade efter sina försök 1964 en maxtemperatur på $300 \text{ }^\circ\text{C}$, antagligen utifrån vattnets filmkokningstemperatur (Leidenfrostfenomenet) [79].

I andra artiklar ges tips för konstruktion av kylande sprinklersystem [80, 81]. Här framgår bland annat att sprayen måste nå hela tankytan och att nedrinnande vatten är inte acceptabelt som skydd. Automatisk utlösning av vattenkylsystemet är ett måste då tidsaspekterna innan explosionsfara föreligger är mycket små. Största avstånd som rekommenderas mellan munstycke och tankyta är enligt Bray [81] 600 mm , medan det i NFPA 15 inte nämns några avstånd. Capper [80] diskuterar medelhastighets och höghastighets sprinklermunstyckens lämplighet för olika oljetyper.

I USA tillämpas $10,2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ vattentäthet som skydd mot direkt flampåverkan [82], grundat på NFPA 15 som i sin tur grundar rekommendationen på försök med uppvärmning av vattenfyllda tankar, genomförda av Rubber Reserve Co åren 1943 - 44. I en lite äldre artikel [61] beskrivs olika åtgärder som är av stor vikt för att förbättra skyddet av stationära tankar t ex att markytan under tanken lutas ifrån tanken till en uppsamlingsplats, isolering, vattenbegjutning och tryckavlastning med fjärrmanövrerad ventil. Vilken fas som skall tas ur behållaren samt i vilken takt diskuteras också.

I Storbritannien kräver man 9,8 l/m² min enligt HSE:s regler [83]. Detta krav grundar sig enligt uppgift på försök med vattenfyllda 23 m³-tankar, gjorda 1964 av Mather & Platt [79], i vilken 9,6 l/m² min rekommenderas. Denna rapport har inte undersökts.

Då tidigare genomförda försök gjorts med vattenfyllda tankar genomförde HSE en försöksserie för att undersöka om gasolfyllning av tanken skulle ge andra resultat [84]. Vattenflöden på 7,2 l/m² min, 9,6 l/m² min och 14,4 l/m² min provades mot 1/4-tons tankar omslutna av fotogenspillbrand. Då vattnet kokade i matarledningen var man tvungen att öka flödet och leda en del av vattnet förbi. Värmeflödet till en oskyddad tanks innehåll var 120 kW/m² medan det för en vattenkyld tank reducerades till 29 kW/m², vilket i sin tur kan jämföras med 0,8 - 8,8 kW/m² som uppnåddes vid försök med isolerade tankar som redovisats i två undersökta rapporter från SR [75] och HSE [74] samt i en rapport från HSE som inte undersökts [76].

SR har undersökt vattenkylning av internt isolerade kryotankar vilket redovisats i tre rapporter [85 - 87]. Värmepåverkan på tanken var dock ganska låg i dessa försök, 70 kW/m². Man har även undersökt möjligheten att funktionsprova vattensprinklerinstallationer utan att fylla systemet med vatten [88]. Med hjälp av röksträngsaggregat, i kombination med fläktar och koldioxid för att få fart på röken, har ett antal sprinklersystem undersökts. Resultaten visar att metoden är användbar, men att den endast skall ses som ett komplement till fullskaleprovning med vatten.

5.3.2 Skydd med vattenkanoner

Det positiva bidraget av att installera vattenkanoner kan starkt ifrågasättas med utgångspunkt från de kunskaper som framkommit om sprinklerkylning. Inga dimensioneringskriterier är kända, men vattenkanoner skulle kunna ses som ett komplement till manuella insatser i större anläggningar, dock utan att kunna ersätta dem. I framtiden kan det dock bli möjligt att detektera brand med bildbehandling och att då även styra en vattenkanon automatiskt utifrån signaler från bildbehandlingssystemet. En fördel med vattenkanoner är att de har lägre vattenbehov än sprinkler. På så sätt kan knappa resurser koncentreras till det ställe där de gör mest nytta.

Ett alternativt sätt att använda vattenkanonerna är att med deras hjälp öka på utspädningen av ett ej antänt spill av en tung gas. HSE har gjort en undersökning av effekten av vattenspray [89]. Uppåtriktade och nedåtriktade system har undersökts med hålkons- helkons- och flatsspraymunstycken med varierande sprayvinklar. Rapporten innehåller användbara data för dimensionering av system. Generellt sett gav uppåtriktade system bäst effekt, utspädningseffekten blev maximalt upp till 4 - 5 gånger.

Denna metod borde även kunna tillämpas med räddningstjänstens utrustning. Det har inte påträffats några referenser på försök av detta slag, men sådana skulle relativt enkelt kunna utföras i Sverige.

6 Erfarenheter från olyckor

I tabell 6 visas årsvis vilka olyckor med brandfarliga gaser och aerosoler som inrapporterats till SÄI. Det är kommunens räddningsnämnder som fr o m 1989 är skyldiga att rapportera om olyckor till SÄI. Av tabellen framgår ganska tydligt hur räddningsnämndernas ansvar för tillsyn enligt LBE som trädde i kraft 1/7 1989 har påverkat antalet inrapporterade olyckor. Dock har det ökade antalet rapporterade olyckor inte påverkat statistiken för antal skadade i någon större grad. Det kan antas att större olyckor som leder till skadade eller döda redan tidigare kom till SÄI:s kännedom i stor omfattning. Naturligtvis vill inte SÄI ha information om minsta aerosolburk som brunnit upp i en lägenhetsbrand, men det kan bland tillbud och olyckor som inte leder till skadade finnas mönster som indikerar potentiella faror. Det är därför viktigt att denna rapportering fortsätter och om möjligt förbättras.

Tabell 6 Olyckor med brandfarliga gaser och aerosoler rapporterade till SÄI under åren 1985 - 1992 [26 - 28, 88 - 91]

År	Antal olyckor totalt	Antal säkra gasololyckor	Antal skadade	Antal dödade
1985	11	4	7	1
1986	6	1	1	0
1987	13	5	13	0
1988	9	3	3	0
1989	19	5	10	0
1990	18	10	13	2
1991	18	10	4	1
1992	22	12	2	0
Totalt	115	50	53	4
Genomsnitt 1985 - 1992	14,4	6,2	6,6	0,5
Genomsnitt 1985 - 1988	9,8	3,2	6,0	0,2
Genomsnitt 1989 - 1992	19,2	9,2	7,2	0,8

Säkerheten kring hanteringen av gasol har liksom de flesta andra områden präglats av ett antal stora olyckor som gjort att man fått upp ögonen för problemområden som krävt nödvändiga förbättringar. I den första delen av detta kapitel kommer några av dessa stora olyckor att redovisas. I följande underkapitel ges referenser till ett antal andra olyckor, grovt uppdelade efter deras sammanhang. Sammanställningen gör inte anspråk på att vara heltäckande, utan avser mera att visa på vilka olika olyckor som inträffat.

Feyzin, Frankrike 1966. En anställd skulle dränera vatten från en bottenventil, men den frös till och gick inte att stänga. Utläckande gasol antändes av en bil som passerade 120 m från tankarna och branden fortplantade sig sedan inom anläggningen. Det faktum att stödbenen till tankarna var oskyddade mot brand och att tankarna inte var fastbultade i marken bidrog till att flera tankar exploderade då stöden kollapsade.

San Juanico, Mexico 19/11 1984. Ett läckage, i en mellanlagringscentral som fyller mindre och större gasolbehållare för vidare distribution, antändes av en permanent brinnande fackla i marknivå. Den följande gasmolnsexplosionen och eventuellt även jetbranden från utsläppet orsakade fortlöpande explosioner och brand i det stora tankområdet under 14 timmar [94 - 96]. 600 personer omkom och 7000 skadades mer eller mindre svårt som en konsekvens av olyckan, huvudsakligen inom en radie av 300 m från anläggningens centrum. Efteråt uppskattades det brandskadade områdets storlek till 100.000 m², vilket motsvarar en cirkel med knappt 180 m radie. Anläggningens dåliga utformning, med små avstånd mellan tankar ledde till en olycklig s k "dominoeffekt". Tankdelar flög mycket långt, upp till 1200 m. Viktiga jämförelser kunde göras med riskanalysmetoder och modeller och insikten om behovet av riskanalyser förstärktes för anläggningar med så här stora potentiella konsekvenser [97]. Intervjuer med brandmän indikerar vad som tidigare skrivits om kall BLEVE, nämligen att en sådan resulterar i en platt brinnande skiva med en antydning till upphöjning på mitten som gradvis övergår till ett eldklot då man närmar sig varm BLEVE.

I USA skedde under en kort period ett stort antal svåra olyckor med tågagnar inblandade. Ursprångrar i Dunreith, 1968 fem vagnar med etylenoxid och vinylklorid, Laurel 1969, 15 vagnar gasol, Crescent City 1970, 9 vagnar propan [98], Houston 1971, 6 vagnar vinylklorid, Oneonta 1974, 7 vagnar gasol. I Tewksbury 1972 och Kingman 1973 [99] skedde allvarliga olyckor vid om-lastning mellan tågagnar och stationära tankar. Det kan noteras att man utformar tågagnarna något annorlunda i USA, säkerhetsventilerna och all annan armatur sitter under en domlucka på tankens ovansida istället för undertill, skyddade av balkar som i Sverige. Efter de beskrivna olyckorna kom regler som krävde ett skyddande betonghölje på järnvägsvagnar.

Oljeborrplattformen Piper Alpha förolyckades i juli 1988 varvid 167 personer omkom. Olyckans hastiga förlopp orsakades av att våldsamma jetbränder fick den bärande konstruktionen att kollapsa. Som ett resultat av denna olycka delade man på produktions- och bostadsplattformar. Dessutom krävs numera i Storbritannien att alla produktionsplattformar har s k nödstängningsventiler som skall vara skyddade mot mekanisk- explosions- och brandpåverkan. Händelsen har även varit orsak till den forskning som bedrivits på jetbränder.

6.1 Referenser från olyckor vid transport

En av de mest kända transportolyckorna inträffade den 11/7 1978 i Los Alfaques ungefär mitt emellan Valencia och Barcelona på Spaniens östkust. Det var en lantbrukare som körde propen som extraknäck. Av okunskap accepterade både föraren och fyllningsstationens personal att tanken var överfull. Efter att ekipaget hade färdats en stund var tankens innehåll uppvärmt så att trycket översteg tankens hållfasthet. Ett läckage startade precis utanför en campingplats, tanken rämnade i en BLEVE och kort därefter antändes den brandfarliga gasen. Förbränningen av gasmolnet varade i tiotals sekunder och de oskyddade semesterfirarna drabbades svårt av dess verkningar. 102 personer dog på platsen, och ytterligare ett hundratal avled senare på sjukhus. Under transporten till sjukhusen togs de som fördes till Barcelona betydligt bättre om hand än de som fördes till Valencia. I en KAMEDO-rapport beskrivs olyckan och omhändertagandet mera i detalj [100]. Under den första tiden efter olyckan var överlevnaden i Barcelonagruppen också betydligt högre. Då de flesta patienterna hade djupa skador över 70 - 90 % av kroppen utjämnades överlevnadsprocenten så att det efter två månader inte var så stor skillnad.

I en rapport [101] ges en omsorgsfull utredning av en olycka med lastbil vid en tankstation i Nijmegen 1978. Initiell brand under lastbilen ledde till ödeläggelse av både lastbil och lagringstank. Explosion inträffade högst 25 minuter efter möjlig brandstart. Utredningen behandlar följande frågeställningar, hur uppstod sprickan i tankbilens tank, vilken var temperaturen vid sprickan innan den sprack, hur högt var trycket i tanken vid spricktillfället, hade tankens material eller konstruktion någon inverkan på tankens reaktion vid tryckökningen. Strålningsnivån från det brinnande gasmolnet beräknades till 180 kW/m². Verifierande experiment tydde på att nivåer upp till 195 kW/m² kan nås.

I Södertälje skulle tanken på en lastbil besiktigas varför 250 l gasol i vätskefas och 20 m³ gasol i gasfas tömdes ut direkt på backen av föraren. Förfarandet användes av en del förare, men var mot gällande instruktioner. Gasmolnet antändes, föraren brännskadades. Då räddningskåren anlände vågade man ej lita på uppgifter från den chockade chauffören utan handlade som om ekipaget var fullt. Tryckavlastningsventilen på dragbilen utlöste och gav termisk påverkan på släpets tank vilket ledde till ytterligare defensiv taktik. Lastbilens bakdäck samt en del annat brännbart i den bakre delen brann upp men tanken exploderade inte. I efterhand ansåg SÄI att brandkåren varit för försiktig medan SRV inte ansåg att så varit fallet då tankens fyllnadsgrad varit svår att bestämma [104 - 105].

Södertälje har varit drabbat även tidigare. 1985 var det en chaufför som körde en bil som oturligt nog var 30 cm högre än hans ordinarie trailerbil, vilket räckte för att nå upp till järnvägsviadukten. Cisternen försköts 3 m bakåt och ett mindre läckage uppstod på ett rör undertill, men det kunde snabbt tätas [106].

Den 22/8 1978 spårade ett antal tågagnar ur i Waverly, USA varav några med gasol [107]. Två dagar senare då en full 112 m³ LPG-tank skulle flyttas sprack den. Olyckan berodde på att vädret blivit varmare samt den kallbearbetning tanken råkade ut för vid urspårningen (brottanvisning). Urspårningen skedde inne i en stad och utrymning hade inte skett innan flyttning av tankar påbörjades varför många nyfikna åskådare som tillåtits stå nära omkom. Erfarenheter har visat att utrymning skall dimensioneras efter värsta fallet och inte med förhoppningen att allt går bra. Man skall minimera personalantalet inom riskområdet och tömma tankar innan de flyttas.

Det finns många exempel på tågurspårningar och andra transportolyckor som inte givit upphov till läckage, och där erfarenheter kan göras utifrån insatserna. I december 1990 hamnade två gasollastade vagnar på sidan efter en urspårning i Sölvesborg [108, 109]. Räddningstjänsten var systematiska och försiktiga. Vagnarna flyttades vid detta tillfälle först efter att ha tömts. Avgasningen från tankarna var 250 kg/timme och då man ansåg den takten vara för låg ökades avgasningshastigheten genom vattenpåföring.

På en växel kolliderade ett persontåg med tre vagnar med en 60 tons gasollastad vagn i ett godståg. Händelsen inträffade i augusti 1984. Trots att loket körde in i gasolvagnen uppstod inget läckage. Av en bild vid artikeln framgår att vagnen inte var svensk, dvs den hade inte tryckavlastningsventil [110].

Vid 22-tiden den 15/1 1982 spårade en gasolvagn innehållande 19 ton ur på Hindås stationsområde, och hamnade i en mindre ravin bredvid spåret. Inget läckage uppstod, men det gick inte att se om tankens undersida var skadad. Efter att 8 ton lossats lyftes tanken den 18/1 varefter resten av gasolen lossades vid en perrong. På tankens undersida upptäcktes en mjuk inbuktning 1,5 m x 0,5 m samt en skarpare intryckning med 0,5 m diameter alldeles innanför gaveln. Av en karta framgår att avståndet från spårområdet till bostadsbebyggelse inte är så stort [111].

Man kan inte ge ett generellt råd om urspårade tankar skall tömmas eller ej innan de lyftes. Om tanken inte står upprätt hamnar lossningsarmaturen inne i tanken fel och det går inte att tömma hela tankens innehåll som vätskefas. Vid tömning av gasfas krävs värme för avgasningen, och en snabb avgasning under ogynnsamma förhållanden kan leda till en kraftig nedkylning av tankens vätskefas. Detta kan leda till ojämn nedkylning av tankskalet med oönskade spänningar som följd. Spänningar som kan vara tillräckliga för att en skadad tank skall gå sönder.

Urspårade tågagnar i Dallas ledde till att en vagn som innehöll isobutan punkterades [112]. Efter omkring fem minuter antändes gasmolnet vilket ledde till antändning av andra vagnar, gräs och ett affärscentra. Brandmännen koncentrerade sig på affärscentret och gräsbranden varför ingen skadades då en vagn med LPG exploderade i BLEVE orsakad av upphettning från en vagn intill med brinnande plastgranulat. Det tog omkring 18 minuter från att gasmolnet antändes tills dess att tanken exploderade.

En lastbilstrailer, lastad med 32 m³ butan välte på en väg i USA [113]. Läckage uppstod och antändes av dragbilens motor. Den avstängda vägen ledde till en omväg på 40 mil för trafiken. Det var 3 mil till närmaste hus och man beslutade därför efter 10 timmars brand att göra hål i tanken för att snabba upp förloppet, vilket skedde genom beskjutning. Eldklotet vid explosionen startade momentant gräsbränder inom 300 meters radie.

6.2 Referenser från olyckor med lagertankar och pipelines

I Norrahammar skedde den 5/9 1969 den enda större BLEVE som hittills inträffat i Sverige [6.10, 6.27, 6.52]. Tanken hade en volym på 60 m³ och var en liggande cylinder. Ett läckage från en dålig svets på ett rör under tanken ledde till ett kraftigt utsläpp som spred sig ner i en åfåra. Efter drygt 20 minuter antänds utsläppet och det uppstår en jetflamma som ger uppvärmning ovanför vätskeytan. Säkerhetsventilen uppges av vittnen ha öppnat efter tre till fem minuters brand. Tankväggen försvagades lokalt och rämnade slutligen efter ungefär 10 minuters brand. Eldklotet uppges ha varit omkring 200 m högt och omkring 200 m i diameter på sin bredaste del. Intressant är att se vilka skador som personer i omgivningen fick. Tre brandmän uppges ha brännskadats, varav två så pass allvarligt att de fick stanna kvar på sjukhus [117]. Eldare Wallin som ansvarade för gasol-anläggningens skötsel började springa från platsen då en mindre gasolflaska från fyllningsstationen under tanken sprängdes. Han uppger sig ha varit ungefär 25 m från den stora tanken då den sprängdes. Det verkar inte som om Wallin brännskadats då han deltog i polisens skadeplatsbesiktning den 6/9, det är dock okänt hur han varit klädd vid olyckstillfället. Ett annat vittne, Bergsten som arbetade vid SJ stoppade tågtrafiken och började sedan gå mot brandplatsen. Då han var 50 - 75 m från tanken sprängdes den. Inte heller Bergsten verkade ha fått några allvarigare skador [118].

Ett par utförliga beskrivningar finns av händelseförloppet och konsekvenserna av den stora olyckan i San Juanico i Mexico i november 1984 som beskrivits ovan. En innehållande fina bilder och bra förklaringar gavs ut av Skandia [94]. TNO i Holland skickade iväg en medarbetare för att undersöka hur väl de risk- och konsekvensanalysmodeller man tillämpat stämde med utfallet av olyckan [97]. Rapporten är mycket utförlig, och svaret blev att modellerna stämde ganska väl. Dock flög tankarna längre än väntat vid explosionerna, och de fria gasmolns-explosionerna gav inte så stora skador som väntat. Det skrevs också i svenska tidningar om denna olycka [95].

I den Katastrofmedicinska Organisationskommitténs rapport [96] som publicerades två år efter olyckan finns en bra beskrivning av händelseförloppet, samt en beskrivning av hur omhändertagandet av skadade från olyckan hanterades.

Den 8 maj 1981 inträffade ett större gasolläckage i Arendal efter att en rörledning sprängts sönder vid ett attentat. Den läckande rörsektionen isolerades genom stängning av ventiler, men innehöll, trots detta 95 m³ gasol i vätskefas, vilket motsvarar ungefär 50 ton. Två brandmän körde in i gasmolnet med sitt utryckningsfordon och antände gasmolnet 55 minuter efter attentatet. En av brandmännen omkom. Länsstyrelsen [119] och SÄI [120] har utrett olycksförloppet, som det även skrevs mycket om i andra tidningar [121]. Explosionstrycket vid olyckan gav inga personskador, utan det var värmestrålningen från förbränningen som skadade brandmännen. Lokalt uppstod explosionstryck på 2 bar i en dagvattenbrunn. Det brandskadade området var 40.000 m², vilket motsvarar en radie på knappt 115 m. Vinden var i det närmaste obefintlig varför det skadade området sträckte sig 200 m nedströms, och 100 m uppströms vinden med en största bredd av 150 m. Läckagets storlek har uppskattats till 5 - 10 kg/s.

I Texas skedde 1992 en gasläcka som antagligen kom från en pipeline [122]. Läckaget antändes av en bil och tre personer dog. Explosionen nådde 3,5 på Richterskalan, vilket är sju gånger starkare än vad som rapporterades från olyckan i San Juanico, och kändes 220 km bort. Olyckan utreds av National Transportation Safety Board och Texas Railroad Commission.

I Stockton California är det varmt och 1986 gick tryckavlastningsventilen sönder på en 25 gallons (100 l) behållare uppvärmd av solen [123]. Delar av tryckavlastningsventilen flög iväg och orsakade antändning. En fortskridande reaktion bland mindre (10 och 25 gal.) behållare orsakade en BLEVE i en 500 gallon tank. Ingen skadades eller dödades, tankdelar flög mer än 200 m och orsakade sekundär antändning.

I USA inträffade i slutet av 1993 en olycka då en 60 m³ gasoltank fyllts till 97 % vid -21°C. När temperaturen sedan steg till mellan -4 °C och +4 °C rämnade tanken i en kall BLEVE. Utsläppet antändes troligen nästan direkt vilket ledde till en brand i tankfarmen som det tog 12 timmar att bemästra. Efteråt konstaterades att drygt två meter av en svets på tanken var av sämre kvalitet [124].

På ett hotell i Garmisch-Partenkirchen fanns en 64 m³ jordtäckt gasoltank. Under den kalla delen av året värmdes den upp med ett varmvattensystem som normalt regleras automatiskt med en tryckvakt. Uppvärmningssystemet hade ställts om till manuellt läge, och då var tryckvakten ur drift. Efter fyra dagar utlöste tryckavlastningsventilen. Den utströmmande gasen sögs in i hotellets luftbehandlingsanläggning och fyllde simhall, squash- och styrketräningslokaler. Efter minst 10 - 15 minuter antändes gasmolnet och 11 personer dog [125].

I USA används ofta gasol för uppvärmning av villor. En brand i ett envånings trähus resulterade i uppvärmning av husets 1m³ LPG-tank som stod strax intill [126]. Brandkåren kom till platsen och inledde släcknings- och kylningsarbetet utan större försiktighet. Tryckavlastningsventilen hostade till ett antal gånger innan tanken exploderade. Som tur var stod ingen i vägen för tankdelarna vid explosionstillfället.

31/1 1984 uppstod ett läckage i en ventil vid Gunnebo bruk utanför Varberg [127] och [128]. Då räddningstjänsten anlände hade det brunnit omkring tio minuter. Efter ett en timme fick man via företag och leverantör veta med vilken ventil utflödet kunde stoppas. Då flammorna värmden tanken och man trodde att tryckavlastningsventilen öppnade intermittent bedömdes inte att avstängning kunde göras på ett säkert sätt. De intermittenta utsläppen kom från en gasolpump som med jämna mellanrum slog några varv p g a uppvärmningen. Evakuering med 500 meters radie skedde efter 1,5 timmar vilket får anses vara i senare laget. Efter 3,5 timmar gick gasleverantörens representanter fram på eget bevåg och stängde ventilen varvid branden slocknade.

I Perryville, Maryland inträffade en gasmolnsexplosion den 6/7 1992 som dödade en kvinna och orsakade skador för 80 - 100 miljoner kronor [129]. En rapport över olyckan kan beställas från US Fire Administration.

Att även mindre gasflaskor utgör en fara vid brand visas tydligt av en händelse i Köping den 17/6 1976. Troligen hade lekande barn antänt en träbyggnad i vilken en järnaffärs gaslager stod. Förrådet var nyligen påfyllt så det stod 50 gasol och acetylenflaskor samt 75 flaskor med obrännbart innehåll i huset. Explosioner pågick i ungefär en timme, och ett 3-4 kg tungt fragment från en acetylenflaska återfanns senare 260 m från ursprungsplatsen. Efter branden var ett 40-tal flaskor fortfarande "hela". På inrådan från en expert från AGA så punkterades samtliga flaskor med gevär innan de flyttades [130]. Vid en förnyad kontakt med AGA 1994 [131] sade man att normalt rekommenderas punktering endast av acetylen-gasflaskor, men att det efter en brand kan vara svårt att skilja på flaskor med olika innehåll. Vanligtvis har tätningsmassan mellan ventil och tryckkärl bränts bort så att gasen läckt ut den vägen.

En aerosolfabrik i England brann ner den 31/3 1993. Branden startade då en truck körde över en aerosolflaska som fallit ner på marken. Inom minuter brann det i närliggande pallar med lagrade aerosolflaskor. Ingen kom allvarligt till skada, men de materiella förlusterna uppgick till £ 500.000 (ungefär SEK 6 miljoner) [132].

6.3 Referenser från olyckor vid hantering och användning

Den ökande användningen av gasol för uppvärmning på byggarbetsplatser i Sverige har lett till ett antal olyckor.

En trasig reducerventil ledde till kontinuerligt utsläpp inomhus som antändes av en dricksvattenfontän efter viss fördröjning [133]. Resultatet blev omfattande fönsterskador samt sekundära bränder.

Läckage från en av 12 P45:or antändes av en aerotemper [134]. Olyckan skedde inuti ett pågående bygge, 2 P45:or exploderade. Ingen människa skadades men tryckstöten gav skador på betongkonstruktionen samt på fönster i omgivande byggnader.

På en byggarbetsplats hade en slangkoppling i källaren lossnat och gasol läckt ut [135]. Läckaget upptäcktes på morgonen, kopplingen sattes ihop och brännaren tändes igen vilket ledde till antändning av utläckt gas. En 100 m² betongplatta smulades sönder och byggnadsdelar kastades 100-tal meter dessutom gick 500 fönsterrutor i omgivningen sönder.

Vid bygget av pappersmaskin 5 på Ortvikens pappersbruk användes en tretons gasoltank för tillfällig uppvärmning. Ett läckage uppstod i ett s k ventilskåp, vilket är en elektrisk förångare. Läckaget antändes så gott som omedelbart och värmden tanken. Tanken var fylld till ungefär 20 % vid olyckstillfället. Då brandkåren anlände hade säkerhetsventilen öppnats. Efter 1,5 timmes kylning minskade brandintensiteten, man gick då fram och stängde en ventil som matade läckage-stället. Det brann dock fortfarande i gasen från säkerhetsventilen som fortsatte vara öppen ytterligare 30 minuter varefter den stängde och all brand var släckt [136].

På ett bygge i USA tappades en tank på 2 m³ inuti en fyra vånings renoveringsfastighet, och sprang läck [137]. Explosion följde efter några minuter då brandkåren anlände. Huset raserades och sju personer dödades.

Vid gasololyckan i Emmaboda den 21/5 1992 var det ett litet läckage inomhus som ledde till en explosion. Anläggningens gasfassida hade byggts om upprepade gånger och flera rörändar hade inte blindflänsats. Olyckan visar hur viktigt det är att anläggningsinnehavaren ser till att även de delar av anläggningen som inte SA besiktigar hålls i ett fullgott skick. Kommunens räddningsnämnd har inte heller observerat bristerna vid sin tillsyn. Det är intressant att notera att tanken som rymmer 6,7 m³ stod kvar fullständigt opåverkad strax intill den före detta byggnaden [138].

Hösten 1992 antändes utläckande gasol från en ismaskin på en idrottsplats i Örnsköldsvik [139]. Omkring 120 m² av byggnader raserades, och gavelväggen flög ett 50-tal meter ut på en väg. Explosionen följdes inte av någon brand.

Mera miljövänliga eller skattetekniskt billigare bränslen för fordon kan snabbt få stort genomslag, men deras införande är inte alltid helt utan biverkningar och barnsjukdomar. Så var det med användningen av gasol som s k motorgas.

I Sverige uppstod bland annat problem då en typ av pumpstation tillverkad i Italien visade sig ha en packning som inte var anpassad till det kalla nordiska klimatet [140, 141].

I Stockholm inträffade i början av 1985 ett läckage i ett garage som berodde på att ägaren till en gasoldriven bil manipulerat överfyllnadsskyddet för att få plats med mera bränsle. Läckaget var inte större än att brandkåren kunde späda ut det med en strategiskt placerad rökgasfläkt [142].

Vid brand i ett holländskt bussgarage brann två fulltankade naturgasdrivna bussar upp [143]. Säkerhetssystemen som bestod av maximalflödesventil (rörbrottsventil), smält/sprängbleck och elektromagnetisk avstängningsventil vid stoppad motor, fungerade som avsett, ingen tank exploderade.

I England ledde läckande gasol från en parkerad personbil 1982 först till en explosion i gasmolnet och sedan till att tanken exploderade [144]. Tryckavlastningsventilen hördes innan explosionen.

TNO i Holland samlar in data om gasolyckor till sin databas "FACTS" och i [97] finns fler referenser till bränder i fordon drivna med gas.

På Biomedicinska Centrum (BMC) i Uppsala ledde ett gasolläckage till omfattande byggnadsskador den 10/5 1982. Olyckan orsakades av en defekt skäringskoppling. Primärutrymmet var endast 53 m³ stort, men i stort sett total-skadades ett helt våningsplan på 36 m x 17 m. Läckaget hade tidigare under dagen uppmärksamats då en gasvarnare larmade. Rummet ventilerades då tills larmet slutade och huvudventilen stängdes. Orsaken till gaslarmet undersöktes dock inte närmare. Som tur var fanns inga personer i närheten då explosionen inträffade. Brandkårens insats komplicerades av att laboratoriet hanterade bakterier och virus [145].

I USA inträffade en explosion i anläggning för utspädning av LPG med luft till lägre värmevärde för att göra stadsgas [146]. En tvåstens tegelvägg raserades och fönster på omgivande byggnader gick sönder. Efterföljande brand i en tvåtumsledning gav ingen påverkan på olika tankar från 6 m avstånd till 30 m.

I en sammanfattande artikel från ett brittiskt försäkringsbolag beskrivs olika olyckor inom industrin och deras orsaker, sorterade efter olycksorsak [147]. Försäkringsstatistik visar att fria gasmolnsexplosioner utomhus ger oproportionerligt dyra skador. Troligen har dock dessa explosioner inte varit helt fria utan rör, byggnader och andra installationer har gett upphov till turbulens vilket lett till höga trycknivåer (författarens anmärkning).

I Storbritannien har en undersökning gjorts av farorna med mindre gasolbehållare som används privat. 297 händelser mellan 1982 - 1984 har analyserats. Det rör sig om behållare för hobby- och campingbruk samt sprayburkar med gasol som drivgas. Även behållare med volym under 0,5 liter kan ge skador på byggnader [148].

7 Risk- och konsekvensanalys

Detta kapitel gör inte på något sätt anspråk på att vara heltäckande inom ämnesområdet eftersom det egentligen inte ligger inom projektramen. De referenser som presenteras får mera ses som en spin-off vid den övriga litteratursökningen.

Att analysera en anläggning och dess risker kan göras med olika hög ambitionsgrad, och med olika inriktning beroende på om det är verksamhetens ekonomiska risk, risken för människor eller för miljön. Därför finns det många olika slags modeller allt ifrån generella antaganden till detaljmodeller för enskilda komponenter.

Att göra en riskanalys innebär att man systematiskt går igenom tänkbara eller oönskade förlopp. För analys av t ex gasläckage behövs statistiskt underlag för att kunna avgöra frekvensen och storleken på läckage, utflödesmodeller, gasdispersionsmodeller, sannolikheter för antändning samt brand, explosions och tryckvågsmodeller. Om ett fall med uppvärmning av en tank skall modelleras behövs uppvärmningsmodeller för tankskalet men även för skiktade vätskor, termodynamiska modeller för att simulera tryckavlastningsventilens funktion, uppgifter om BLEVE, kringflygande fragment etc. Därutöver behövs i båda fallen påverkansmodeller för människor och objekt.

Det inses lätt att analyser av gasolanläggningar kan innebära ett mödosamt arbete beroende på till vilken nivå man vill bedriva sin analys.

I Sverige har i huvudsak FOA bedrivit arbete inom områdena gasdispersion och konsekvenser av antändning. Ett antal rapporter har publicerats bl a [149, 52, 150 och 151]. FOA har fått medel för fortsatta insatser vad avser riskanalysmetodik [152]. En handbok i riskanalysmetodik kommer att färdigställas under 1994 om inget oförutsett inträffar. Den är en uppdatering och utveckling av en tidigare handbok, och kommer bland annat att innehålla en beskrivning av Multienergi metoden som beskrivs nedan, samt ett avsnitt om miljöpåverkan som inte fanns i den tidigare utgåvan.

I en förstudie för SRV [151] har FOA studerat om våra svenska vinterförhållanden påverkar effekterna av gasutsläpp. Så gott som alla försök som gjorts med gaser har gjorts under klimatmässigt varmare förhållanden. Det visade sig vid FOA:s försök att gasolgas lämnar mycket små spår efter sig då den strömmar ut över snö. Gas i vätskefas kan vid låga temperaturer ligga kvar lång tid under snön utan att det på ett enkelt sätt kan upptäckas. Farhågorna att snön skulle kunna ge upphov till höga tryck om gas som sjunkit ner i snö antänds har inte kunnat bekräftas vid de försök som gjorts.

SGF har gett ut en allmänorienterande publikation om hur en riskanalys över gasol och naturgas distributionsnät bör se ut samt vilka myndigheter som är berörda [153]. De flesta större anläggningsägare har numera gjort eller låtit göra riskanalyser över sina anläggningar. Ett exempel på en lite mer omfattande analys är [154] som utförts för Sydkraft AB.

Internationellt publiceras med jämna mellanrum statistik, typanalyser och sammanställningar över användbara modeller som t ex analys av gasollager [155], analys av tågtransport [156], gasolinstallationer i allmänhet [157] och [158]. Arbetarskyddsmyndigheten HSE i Storbritannien har publicerat en utförlig riskanalysstudie över BLEVE-riskerna associerade med en 100 ton butanfylld tank [159].

FOA har gjort en förstudie åt SRV angående explosioner i tunnlar [160]. Studien behandlar även problematiken med brandfarliga vätskor i tunnlar, och risknivåerna diskuteras med jämförelse till andra risker i samhället.

FOA har också tillämpat riskanalystekniken på den tunnel i Göteborg som innehåller den underjordiska stationen vid Liseberg [161]. I studien görs ett konservativt antagande att alla personer i tunneln omkommer vid ett kontinuerligt gasutsläpp på 12 kg/s, vilket motsvarar ett hål med 10 cm² area.

Försök med utsläpp och dispersion av tunga gaser gjordes i stor omfattning under de senaste årtiondena. 31 försök med gasutsläpp gjorda av Shell redovisas på ett användbart sätt i [162]. För kontinuerliga utsläpp anges det brännbara områdets utbredning. Även i Tyskland har liknande försök gjorts med utsläppsflöden från 2,5 - 61 kg/s med varierande vind och väderstabilitet [163].

Ett område som har utvecklats under de senaste åren är modelleringen av tryckverkan från fria gasmolnsexplosioner. Den äldre metoden är att transformera energimängden till en ekvivalent mängd TNT (ett välkänt explosivämne). För TNT är tryckverkan välkänd för olika stora laddningar, och på olika avstånd från explosionscentrum. Vid beräkningar enligt TNT-metoden skall effektivitetsgraden hos explosionen ansättas, och vanligen varierar denna s_k yield factor mellan 1 och 15 %. En lite äldre publikation som haft hög renommé är [163] skriven av Guban. Andra referenser är [165 - 168]. Vid bland annat olyckan i San Juanico observerades att de fria gasmolnsexplosionerna inte haft de stora konsekvenser på omgivningen som man hade kunnat förvänta [97]. Man har kommit fram till att tryckverkan vid explosioner är beroende av två förhållanden. Dels graden av inneslutning och massan inneslutet gas samt förekomsten av turbulensskapande objekt [169]. På TNO i Holland har en modell kallad Multi-energi modellen tagits fram. Denna modell tar hänsyn till förekomsten av inneslutande och turbulensskapande objekt samt även tryckvågens skiftande utseende beroende på när och var antändning sker [170]. Multi-energi modellen beskrivs i den senaste utgåvan av TNO:s samling av riskanalysmodeller, kallad "The yellow book". Tyvärr krävs mera detaljerade indata för att modellen skall kunna användas, men i gengäld blir utdata betydligt bättre. Fria gasmolnsexplosioner heter på engelska "unconfined vapour cloud explosions", vilket förkortas UVCE. Ibland ser man även uttrycket som PUVCE där P står för "percussive".

Sheild har utarbetat ett antal modeller för att beräkna värme- och tryckverkan från gasol BLEVE [171]. Det som gör dessa modeller extra intressanta är att de bygger på fysikaliska data och att de visar god korrelation med flera rapporterade experiment. Alla andra modeller som hitintills använts bygger på empiriska korrelationer vilket i och för sig inte är felaktigt, men dock utgör en förenkling av förloppen till "svart låda".

Värmeverkan från stora spillbränder eller brinnande gasmassor är också områden som det ägnas en hel del ansträngningar åt [172] A. D. Johnson, A model for predicting thermal radiation hazards from large scale LNG pool fires, Shell research Ltd.[51] J. Cook, Z. Bahrami, R. J. Whitehouse, A comprehensive program for calculation of flame radiation levels, Journ of loss prev in proc ind, vol.3 1990.

I Storbritannien utför även myndigheterna (HSE) riskanalyser över större anläggningar [173, 174] enligt de nationella tillämpningarna av Sevesodirektivet, kallade NIHHS och CIMAH. En av de första analyserna publicerades 1988 [175]. I [173] finns en utmärkt diskussion kring acceptabel risk och vilken syn man har på denna i olika länder för olika typer av verksamheter. Även i Kanada har det diskuterats på vilket sätt som riskanalyser kan användas i myndighetsutövning [176]. I Storbritannien har utförts en analys av riskbidraget från transport av kondenserade gaser [177].

BASF är en stor tysk kemikoncern, som bl a sedan en kraftig explosionsolycka 1948, satsar på egen kompetens inom riskanalys. Giesbrecht föreslår i en rapport en metod för att i efterhand utvärdera gasmolnsexplosioner utifrån de skador som orsakats [178].

HSE har utfört en del grundläggande arbeten rörande fluidmekaniska och termodynamiska förlopp vid tankbrott [179, 180] och kritisk rörströmning [181].

I Norge är man aktiv inom fältmodellering och det har även publicerats en rapport om beräkningar av flam- och tryckutbredning i förblandade gas-luftblandningar [182].

I en Fransk undersökning som nyligen publicerats har man ingående studerat fria gasmolnsexplosioner. Slutledningen är att om inte gasmolnet innesluts så blir övertrycket mycket litet [183].

För att underlätta analysen av gasolspill vid olyckor har ett program kallat LPG-1 konstruerats i Kanada [184]. Rapporten har inte undersökts närmare.

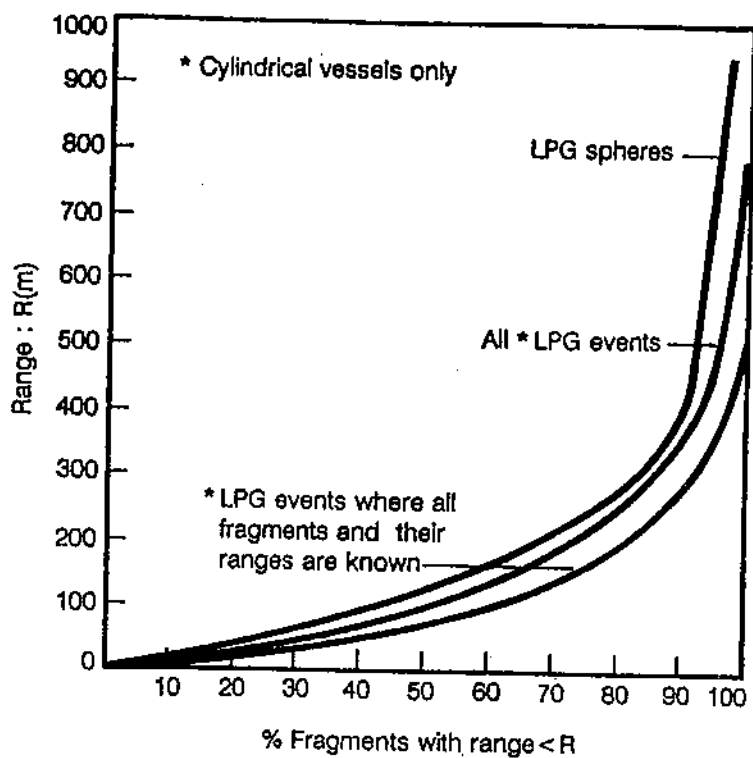
På produktionsplattformar off-shore är konstruktionen av facklan ett område där man försöker dimensionera installationerna med så små marginaler som möjligt. Shell har därför tagit fram ett modellpaket för att beräkna värmepåverkan från facklan under varierande vindförhållanden [185].

I ett Japanskt arbete har funktionen hos sprängbleck undersökts för såväl amerikanska som holländska mindre gasbehållare [186].

En klassiker för alla inblandade i processindustri är den 1200 sidor tjocka "Loss prevention in the process industries" [187]. Böckerna har sin grund i engelska förhållanden, men behandlar också många andra områden som är av allmänt intresse. Planering, utformning och drift av en processindustri diskuteras utifrån behovet av managementsystem, användningen av tillförlitlighetsteknik, betydelsen av processutformning och mänskliga faktorer, betydelsen av katastrofplanering och hur man hanterar brand, explosioner och förgiftningsrisker.

7.1 Kringflygande fragment

Då tryckkärl brister är sannolikheten stor, 0,8 enligt Holden och Reeves, att de delar sig i fragment som flyger iväg åt olika håll. Vid brandpåverkan på liggande cylindrar är genomsnittet 4 delar per tank, antalet är större för ej brandpåverkade tankar (mekanisk skada eller överfyllnad). Sfäriska tankar ger i genomsnitt fler fragment än cylindriska. Vill man modellera kringflygande fragment från tankar måste man skilja på tankar innehållande endast gasfas, och sådana som innehåller tryckkondenserade gaser som t ex gasol. Moodie har sammanställt en bra rapport som täcker det mesta kring kringflygande fragment från gasoltankar [188].



Figur4 Kringflygande fragments räckvidd från gasoltankar [187]

Större fragment har, speciellt vid circumferentiella brott, en tendens att flyga ganska långt. Om man jämför i figur 4 som är hämtad ifrån en rapport från HSE [188] ser man att inom 100 m landar 60 % av fragmenten från förlopp där alla fragment spårats medan motsvarande för alla händelser är endast 50 %. Vid undersökning efter olyckor är det ofta svårt att hitta de mindre fragmenten, särskilt om de finns nära tankens ursprungsläge där förstörelsen kan vara stor.

En erfarenhet från olyckor och försök är att tankfragment kan ta med sig gasol och sprida brand då de flyger iväg. Därför är sekundära bränder mycket troliga efter en tankexplosion

8 Utbildning

Med rätt kunskaper kan man förhindra många olyckor. Frågan är bara vem som skall utbildas och vad de skall veta. Eftersom stora gasololyckor är sällsynta händelser så gäller det att verkligen motivera målgrupperna att ta till sig information. Det är också viktigt att utforma informationen så att den viktiga delen inte drunknar i ett stort överflöd av andra uppgifter.

Insatser: Ett amerikanskt brandbefäl har i en artikel [189] förklarat den fundamentala skillnaden mellan insatser vid farligt-gods-olyckor och de vanliga brandmannauppgifterna. Genom historien har man utvecklat en brandmannatyp som är mycket handlingsorienterad. Vid olyckor med farligt-gods är det däremot oftast en fördel med en annan typ som stannar upp ser sig omkring, lyssnar och utvärderar.

Detta resonemang gäller i högsta grad även insatser vid incidenter med gasol inblandat, förf anm.

I USA har man haft ett antal svåra gasololyckor då många brandmän fått sätta livet till. Därför har man enligt en artikel i NFPA Journal [190] numera på brandkårerna utarbetat säker taktik för att hantera sådana incidenter. I artikeln informeras tyvärr inte om vad man kommit fram till och hur kunskapen tillämpas.

Warren behandlar i en artikel [191] hur brandmän och andra kan förberedas på olyckor genom praktisk träning och teoretisk utbildning. En tumregel för evakuering kring en cistern som riskerar att sprängas ges, 1000 fot per 10000 gallon tankvolym, dvs 300 m per 38 m³.

Ägare/brukare: Det är dock minst lika viktigt att de som innehar eller hanterar tankar och mindre behållare har tillräckliga kunskaper. På så sätt uppstår färre olyckor, och incidenter kan upptäckas och åtgärdas på ett tidigt stadium. I Sverige krävs att anläggningar med tillstånd enligt LBE skall ha en föreståndare med tillräckliga kunskaper. Sådan utbildning erbjuds bland annat av SBF, STU och SIFU. Alla på en arbetsplats där gasol hanteras bör dock ha en basnivå av kunskaper.

En organisation i Storbritannien, The Institution of Chemical Engineers har gett ut ett utbildningspaket som har som mål att väcka och öka riskmedvetandet hos ansvariga inom verksamheter som hanterar gasol [192]. Utbildningen som täcker såväl lagring som transport är upplagd som en gruppdiskussion där man diskuterar utifrån typfall som beskrivs på video eller i en bok.

Försäkringsbolaget IRI har tagit fram ett aktivitetsprogram kallat OVERVIEW som i 14 block hjälper till att identifiera brister i anläggningsmanagement för gasolanläggningar. I en artikel presenteras förutom OVERVIEW även redogörelse för olyckstyper med kända olyckor som exempel [193].

Epperson [194] inriktar sig på mindre behållare av flasktyp, hur de skall hanteras och lagras samt vad de anställda på en industrianläggning kan och bör göra vid incidenter. Ett hjälpmedel för transport av skadade eller rostiga behållare kallat "cylinder overpack device" beskrivs.

Besiktning/tillsyn: Räddningsnämnderna som numera har ansvaret för tillsynen enligt LBE. Man är därmed från räddningsnämndernas sida skyldiga se till att tillräcklig kompetens finns hos de som utför tillsynen. Idag finns behov av bättre kunskaper om såväl produkterna i sig som om deras hantering och installationerna.

Allmänt: I en artikel i Brand och Räddnings steg för steg serie nämns på ett lättfattligt sätt en del om gasols fysikaliska egenskaper och explosionsfarliga gas/luftblandningar [195]. Vid utbildning kan den utgöra ett bra komplement till praktik och andra teoripass.

Författarna föreslår att som fortsättning på detta projekt, de olika intressenterna lägger ner insatser för att förbättra tillgången och kvaliteten på utbildning för olika grupper. Vissa grupper verkar ha större akuta behov av stöd än andra. Den personal som utför tillsyn enligt LBE för räddningsnämndernas räkning, anläggningsägare och föreståndare samt räddningsledare föreslås få högst prioritet.

9 Besöksrapporter

9.1 Besök på Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)

Vid besöket togs vi om hand av Dr. Christian Balke (CB), chef för laboratorium 9.22 "Lagringstankar", och vi träffade även chefen för hela avdelning 9, Dir. och Prof. Dr.-Ing B. Schultz - Forberg.

BAM som är en federal myndighet, har inte någon direkt motsvarighet i Sverige, men vad gäller tryckkärl och brand jämföras med en blandning av SÄI, Tryckkärlskommissionen, SA och SP. Man har 2000 anställda varav 1200 från gamla Västtyskland.

CB:s laboratorium har utfört ett antal provningar av olika isolerande material för gasoltankar. Provningarna har utförts på uppdrag av tillverkare av isoler-materialen för att visa att skyddade tankar motstår en typbrand i 90 minuter utan att rämna, vilket är ett krav i Tyskland.

De nya regler som beslutats om, [196], innebär att alla nya tankar måste grävas ner. Vid beslut om dessa regler har ingen hänsyn tagits till eventuella problem med korrosion eller inspektion. Denna typ av frågor hanteras i de olika delstaterna av Technische Überwachungsverein (TÜV) eller liknande organisationer.

Alternativa skyddsmetoder som kylande sprinkler eller isolering är endast tillåtna på befintliga anläggningar som måste uppgraderas. För att kunna tillåta sprinkler måste anläggningen uppfylla höga krav som t ex intern brandstyrka.

Dimensionering av tryckavlastningsventiler diskuterades också. Enligt den tyska DIN-normen krävs endast att överfyllnad klaras, dvs ingen hänsyn tas till termisk påverkan vid brand.

CB beskrev BAM:s provningsmetod samt de förändringar som gjorts i den. Vid tidigare provningar användes olja som bränsle, men numera används propan-brännare av miljöskäl. Strålningsnivån mot tankytan blir omkring 90 kW/m². Man är osäker på hur höga temperaturer som kan accepteras i tankstålet vid brandpåverkan. 300 °C anser man definitivt kan accepteras, men uppåt 400 °C är man osäker.

9.2 Besök på Health and Safety Executive (HSE)

HSE har 500 personer sysselsatta med forskningsverksamhet på olika ställen i Storbritannien. Under resan besöktes dels en anläggning i Buxton där storskaliga försök genomförs och dels Bootle/Liverpool där tekniskt stöd för fältinspektörerna finns.

I Buxton deltog Stuart Jagger, Keith Moodie, Terry Roberts och Mike Bridge. Vid besöket var man mitt uppe i ett CEC-STEP-projekt kallat JIVE som genomförs i samarbete mellan tolv europeiska intressenter från åtta länder. I försöksserien skall fyra BLEVE-försök genomföras varvid 2 tons tankar fyllda till 20 %, 40 %, 60 % och 80 % provoceras till BLEVE genom att utsättas för en gasjetflamma med ett flöde på 1,5 kg/s. Efter två genomförda försök avbröts serien och fortsattes på en mera avlägsen plats då det visade sig att tankdelar flög längre än beräknat. Eldkloten vid BLEVE i en tvåtons tank fick en diameter på 50 m och strålningsnivåer på upp till 350 kW/m² har uppmätts.

HSE har varit inblandade i försök med vattenbegjutning som skyddsmetod. Erfarenheterna från dessa är att existerande krav på 9,8 l/m² min inte är tillräckligt. Försöken indikerar att flöden upp emot 120 l/m² min krävs för att kunna kyla tillräckligt vid en jetbrand. Vattnet måste då sprutas jämnt över hela tankens yta.

Det nämndes att tryckavlastningsventilerna i Storbritannien dimensioneras för en termisk påverkan på 130 kW/m².

För framtiden såg man ett stort behov av en internationell standard för provning av isolermetoder för tankar. En lovande ansats anser man existerar i form av den provningsmetodik med jetbrand som tagits fram av SINTEF i Norge. Vätgas kommer antagligen att bli ett vanligare bränsle i framtiden med sina speciella risker och problem. Man är mycket intresserad av att närmare analysera hur olika läcka typer ser ut och uppstår. Detta för att kunna förutsäga svaga punkter i konstruktioner och förebygga dessa. Dimensionering av tryckavlastningsventiler särskilt med hänsyn till s k run-away reactions är också ett angeläget område.

I Liverpool besöktes Martin Goose som är ansvarig för HSE:s modelleringsverksamhet och utvecklingen av dataprogram, bl a ett riskanalysprogram kallat RISKAT. HSE utnyttjar sina program som ett beslutsstöd vid lokaliseringsfrågor eller analyser av befintliga anläggningar [174]. De kan även användas om fältpersonalen, som motsvarar Yrkesinspektionen i Sverige får problem vid en inspektion som de inte själva kan lösa.

Man har tagit fram en enkel tabell, se tabell 7, som identifierar om lokaliseringen av t ex en fabrik är möjlig, då den är förbjuden samt då tveksamhet föreligger. Det är endast i tveksamma fall som djupare analyser utförs. Kategorierna A - D avser olika "omgivningsaktiviteter" beroende på den typ av personer som vistas där, från kategori D som de mest sårbara, t ex barn eller sjukhuspatienter till A, vilket utgör verksamhetens egen personal vilka anses ha lägst skyddsbehov. Den något ologiska ordningens orsak tillhör brittisk myndighetshistoria. Zonindelningen görs utifrån verksamhetens risker med avseende på strålning och tryck från explosioner eller sannolikheten för förgiftning. Den programvara som HSE tagit fram är för närvarande inte officiellt tillgänglig då man är osäker på ansvarsfrågan om programmen används för dimensionering.

Tabell 7 Tabellen visar när djupare analys är nödvändig innan lokalisering kan godkännas

kategori	inre zon	mittzon	yttre zon
D	förbjudet	konsultera	konsultera
A	förbjudet	konsultera	tillåtet
C	konsultera	konsultera	tillåtet
B	tillåtet	tillåtet	tillåtet

RISKAT-programmet avser att beräkna återstående riskbidrag då lagens krav uppfyllts. Det innebär att inga analyser görs om anläggningen inte uppfyller brittiska krav. Man modellerar representativa scenarier, inte värsta fallet. I programmet tas förutom riskkällan och dess egenskaper även hänsyn till befolkningsstrukturen runt anläggningen och förhärskande meteorologiska förhållanden. Utdata kan skrivas ut som fält med olika sannolikhet för dödsfall, med skalan anpassad till de vanligaste kartskalorna för enkel jämförelse.

9.3 Besök på Shell Research Department (SR)

Vid besöket på SR i Thornton deltog förutom avdelningschefen Professor David Bull även Nick Davenport, Simon Sheild och Geoff Chamberlain.

SR har ett antal specialiserade laboratorier på olika ställen runt jorden. I Thornton är man experter på förbränningsteknik och ansvarar för produktutveckling av bensin, diesel, flygbränsle och smörjolja. Dessutom arbetar här 26 mycket kvalificerade personer med gasdispersion samt brand och explosion i brandfarliga varor.

Man har arbetat mycket med jetbränder sedan 1988 då Piper Alpha olyckan inträffade. På grund av problem med skalning mellan mindre och större försök har man gjort många storskaliga försök med flöden av metan, butan och propan på upp till 40 kg/s, vilket motsvarar omkring 1500 MW. Äldre modeller för konsekvenserna av ett utsläpp ger lika långa flamlängder oavsett produkt så länge tryck och hålstorlek är konstanta. Med en videofilm punkterades den villfarelsen effektivt då metanflamman visade sig ge en stark pensellik flamma medan butan och propan ger en bananformad uppåtsträvande flamma som flackar omkring vid vindpåverkan.

Vid sina storskaliga försök har man nått flamlängder på upp till 80 m vilka resulterat i strålningspåverkan mot mål på upp till 250 kW/m², i en riktig situation tror man inte att påverkan överstiger 200 kW/m² p g a påverkan från vind och annat. Vid försök med lägre flöden har man på 30 m avstånd i sidled mätt upp 2 -4 kW/m² vid 2,5 kg/s och 15 kW/m² vid 25 kg/s. Nivån 50 kW/m² sammanfaller erfarenhetsmässigt väl med flammans utbredning.

Vid försök med stora jetflammar mot mål har påverkansnivån visat sig vara i hög grad geometriskt och bränsleberoende. I fall med ett horisontellt rör har i några fall den högsta påverkan uppmätts på rörets baksida. Man har observerat att objekt i flammen leder till att flamlängden ökar, men inga försök har gjorts att kvantifiera effekterna.

Simon Sheild presenterade SR:s erfarenheter av BLEVE. Det har visat sig att ungefär 50 % av den tillgängliga energin vid en BLEVE åtgår i tryckarbete, medan de återstående 50 % kastar iväg fragment. Vid jämförelse med modeller för konsekvensberäkningar så anser man att dessa ger överdrivna resultat. SS visade på två inträffade fall då brandmän som varit klädda i helskydd klarat sig utan större skador trots att de stått inne i eldklotet vid BLEVE.

En intressant effekt som man observerat är fyllningsgradens betydelse för tryckvågens utseende. Om tanken är fylld till 50 % eller mer erhålls en dubbel tryckvåg med ett undertryck emellan. Är fyllnadsgraden lägre blir det endast en tryckvåg och inget undertryck.

Vad gäller konsekvenserna av en BLEVE så har man också sett skillnader mellan kall och varm BLEVE. Vid en varm BLEVE, dvs då tankens innehåll har en temperatur som påtagligt överstiger den normala så blir effekten vid utsläppet ett sfäriskt eldklot. Vid en kall BLEVE däremot får molnet en pannkaksformad utbredning, eventuellt med ett litet eldklot.

Som representant för användarsidan har man gjort en noggrann undersökning av olika metoder för passivt skydd. Sådana skyddsåtgärder har stor betydelse för säkerheten på off-shoreplattformar och man är angelägen om deras funktions-säkerhet. Normalt grundkrav är två timmars ugnsprövning enligt den s k HC-kurvan. Försök har visat att det finns andra effekter som för Shells applikationer har större betydelse. En jetflamma har nämligen genom sin höga hastighet, 30 - 40 m/s, och eventuellt förekommande vätskedroppar en mycket stor erosionsförmåga. Sådant erosion kan på kort tid fullständigt utplåna skyddssystemet. Man har i sina studier även tittat på andra aspekter som åldring, miljö- och kemikalie-påverkan, vidhäftning och liknande.

10 Slutledning och rekommendationer

10.1 Ansvarsförhållanden

Anläggningsägaren har alltid det yttersta ansvaret för anläggningens säkerhet och därmed också för dess besiktning och underhåll. De besiktningar som görs från olika myndigheters sida, även om dessa är utan anmärkning, frångår inte ägaren ansvaret. Det är också viktigt att komma ihåg att olika myndigheters besiktningar har olika syften och att vissa aspekter kan falla mellan stolarna.

Samhället av idag präglas av allt större komplexitet samtidigt som kraven från allmänheten och politiker ökar på att vi skall kunna leva riskfritt. Detta ställer stora krav på anläggningsägare och myndigheter att identifiera och analysera riskkällor samt vidta motåtgärder mot olyckors uppkomst.

10.2 Planering - projektering

Anläggningsutformningen har stor betydelse för sannolikheten för olyckors uppkomst men antagligen ännu större betydelse för konsekvenserna av en olycka och möjligheten att vända ett oönskat förlopp tillbaka mot ett säkert läge.

Goda erfarenheter och råd finns samlade i publikationer från olika organisationer [3.9, 3.10, 3.23, 4.1, 12.5]. Det finns dock några som särskilt bör nämnas.

Ytan under en stationär tank skall alltid utföras med fall i riktning från tanken så att poolbränder rakt under tanken förhindras.

Flänsförband i närheten av tanken skall undvikas i så stor utsträckning som möjligt.

Rördragnings skall utföras, med hänsyn taget till hur både lagrings- och förbrukningssida ser ut så att risken för brandpåverkan på tanken från läckande rör-system minimeras. En vanlig rekommendation är att inga rör med gasol i vätskefas installeras ovan tankens vätskefasyta inom tio meter från tanken. Detta är dock inte en dimensionering som gäller i varje enskilt fall varför det är att föredra med en dimensionering utifrån funktionskravet istället.

Lämpliga skyddsavstånd upprätthålls till omgivningen och säkerhetsavstånd inom anläggningen så att sannolikheten för brandpåverkan och brandspridningseffekter minskas.

Om tanken trots ovanstående åtgärder utsätts för brandpåverkan så finns det i Sverige ett grundkrav på skyddsutrustning i form av tryckavlastningsventil dimensionerad för viss värmepåverkan.

Erfarenheter från olyckor och forskning visar att tryckavlastningsventiler inte utgör ett skydd mot alla former av brandpåverkan. Författarna anser trots det att tryckavlastningsventiler utgör ett bra skydd vid de flesta påverkansfall. Särskilt om deras användning kopplas till att andra rekommendationer för att uppnå god säkerhet följs, som t ex att förhindra poolbrand under tanken eller direkt flampåverkan ovan vätskefas.

I de fall då ytterligare skydd behövs är så kallade passiva metoder är att föredra då de fyller sin funktion oavsett väder och strömavbrott. Strålningsskärmar i form av väggar eller isolering av tanken är två exempel. Vattenkylning med sprinkler är mer tveksamt ur denna aspekt då det dessutom är svårt att underhålla ett sådant system så att funktionen blir 100 %-ig, vilket är ett krav. Skulle trots allt ett vattenkylsystem föredras så bör det utformas för automatisk utlösning. Man kan eventuellt också tänka sig att "överdimensionera" tryckavlastningsventilen då man utom vid jetbrand köper sig tid innan farligt läge uppstår. Vid jämförelser mellan de försök som gjorts i Tyskland och i Storbritannien framgår två extremfall med tryckavlastningsventilen dimensionerad mot överfyllnad i ena fallet och mot dubbelt så högt värmefflöde som i Sverige i det andra fallet.

Där punktvis direktpåverkan i form av s k jetbrand inte kan uteslutas bör också förstärkta skyddsåtgärder vidtas. Enklast är att skärma av med t ex betongmur men eventuellt kan ett enklare system med plåtskärmar ge ett bra skydd i många fall.

Kylande system med vattensprinkler måste utformas så att varje del av tanken erhåller angivet minimiflöde. Det är extra viktigt att genomföringar och ventiler har vattentäckning. Flödestätheten 2 l/m^2 min skyddar mot en relativt låg strålningspåverkan men minst 7 l/m^2 min behövs för att skydda mot en brand som uppstår nära tanken. För direkt flampåverkan från en poolbrand under en tank rekommenderas i både USA och Storbritannien 10 l/m^2 min. Automatisk aktivering av kylsystemet rekommenderas så att vattenbegjutningen påbörjas innan stålet når temperaturer över $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

I Tyskland krävs att en tank står emot 90 minuters brandpåverkan från en poolbrand under och kring tanken. För nya tankar krävs därför nedgrävning medan befintliga tankar måste förses med isolering. Man har testat ett flertal olika system och det är fullt möjligt att utföra sådan isolering. En negativ sida är att besiktning av tanken försvåras, men eventuellt kan detta lösas genom metodval eller förbättrade metoder för besiktning.

Nedgrävning under ett minst $0,25 \text{ m}$ jordlager specificeras i SIND-FS 1981:2 som ett möjligt skyddsalternativ. I Tyskland krävs minst $0,5 \text{ m}$. För att kunna få ett väl fungerande aktivt korrosionsskydd behövs i allmänhet minst ett 1 m tjockt lager, varför detta krav i allmänhet blir dimensionerande.

Att bygga en kasun som alternativ till nedgrävning är inte att rekommendera då man får mycket svårt att kunna åtgärda ett läckage som uppstår vid tanken.

10.3 Tillsyn - kontroll - insatsplanering

Räddningstjänsten måste kunna behärska alla olyckor från de enklaste och vanliga till de stora men mycket sällsynta katastrofala situationerna. Det blir naturligtvis lätt så att man främst förbereder sig på och övar de händelser som det är mest troligt att man kommer att stöta på. Räddningsledarna har oftast svårt att hinna förkovra sig vad gäller andras erfarenheter från ovanligare olyckor. Insatsövningar eller spel är dyra och svåra att genomföra så att de blir representativa och givande för de inblandade.

Brandsyn har till syfte att fånga upp och kontrollera det som nämnts ovan angående projektering. Både anläggningsägaren och föreståndaren för anläggningen bör medverka. När driften väl är igång framkommer ofta aspekter som ej förutsätts i projekteringen

Tänk igenom både den normala användningen av systemet och tänkbara olycksscenarioer och eventuella "dominoeffekter". Det finns ett antal lämpliga metoder för att systematisera genomgången t ex FMEA eller HAZOP-metodik beskrivna i en rapport från Kemikontoret [197]. Återigen, anläggningsägaren har stort ansvar och åtgärdsplan för olika händelser skall finnas. Det gäller att tänka igenom frågor som vem gör vad, vilken utbildning/information behövs till olika berörda, redan innan en olycka har inträffat.

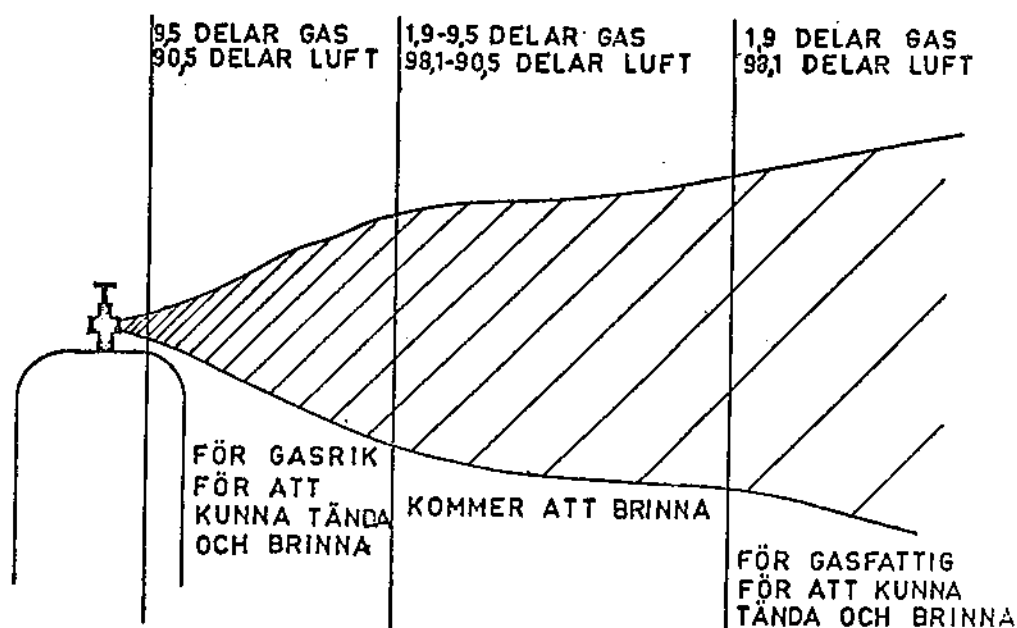
I denna rapport behandlas primärt lagringen av gasol. Själva förbrukarsystemet utgör dock oftast en betydligt större riskkälla och kräver mycket noggrann skötsel och kontroll vilket naturligtvis också ingår i en brandsyn.

Brandsynen måste kompletteras med en insatsplanering vilket innebär att såväl anläggningens personal som personalen på räddningstjänstens utryckningssida måste involveras. En kartläggning om anläggningens utseende och uppbyggnad, var rörsystem leder, var avstängningsventiler sitter, vilka passiva och/eller aktiva skyddssystem finns, etc är nödvändig grundinformation. Hur skall man angripa ett läckage/brand vid olika vindriktningar, vilka avspärningar/utrymningar som skall vidtas måste också vara klart. Det är viktigt att all personal i utryckningsstyrkan får möjlighet att bekanta sig med gasolanläggningar, inte bara befäl. Lämpligen görs samtidigt en genomgång av insatsplanen.

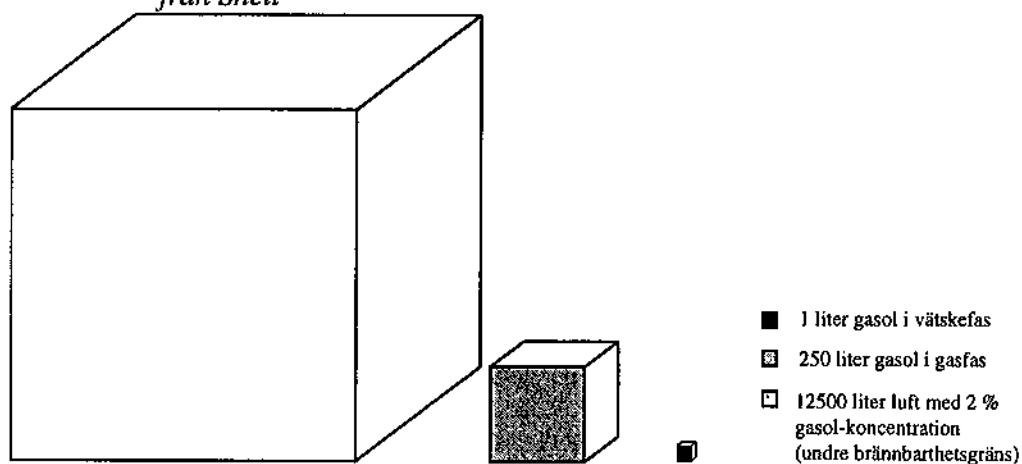
Om man gör insatsplaneringar kopplade till någon form av risk- eller konsekvensbedömning för fasta gasollager så utgör insatsplanen dels ett bra hjälpmedel för insatsstyrkan vid larm till företaget. Riskanalysen utgör även underlag för att identifiera äldre anläggningar där verksamheten, omgivningen eller kunskapen om risker förändrats så att säkerhetshöjande åtgärder behövs. Olika skyddsalternativ presenteras i kapitel 10.2 ovan.

Vid insatsplaneringen bör man skaffa sig en så god uppfattning som möjligt om konsekvenserna av ett olycksfall. Då kan t ex en handbok av den typ som FOA snart färdigställt vara ett bra hjälpmedel. Det förekommer även ett antal datormodeller för att beräkna hur långt gasutsläpp sträcker sig och verkan om de antänds. Det är viktigt att insatsplanen poängterar att brandpersonal inom influensområdet ständigt bär full skyddsutrustning. På så sätt minskas skaderisken vid en BLEVE eller en fördröjd antändning.

Då gasol hanteras inomhus är det viktigt att betänka gasols brännbarhetsområde, 2 - 9 %, vilket innebär att ett utsläpp kan spädas till stora volymer, men ändå vara antändligt, se figurerna 5 och 6.



Figur 5 Brännbarhetsområdet för gasolgas, hämtat från informationsmaterial från Shell



Figur 6 Kuberna motsvarar volymen av 1 liter gasol i vätskefas som förångas respektive som blandas med luft till undre brännbarhetsgränsen

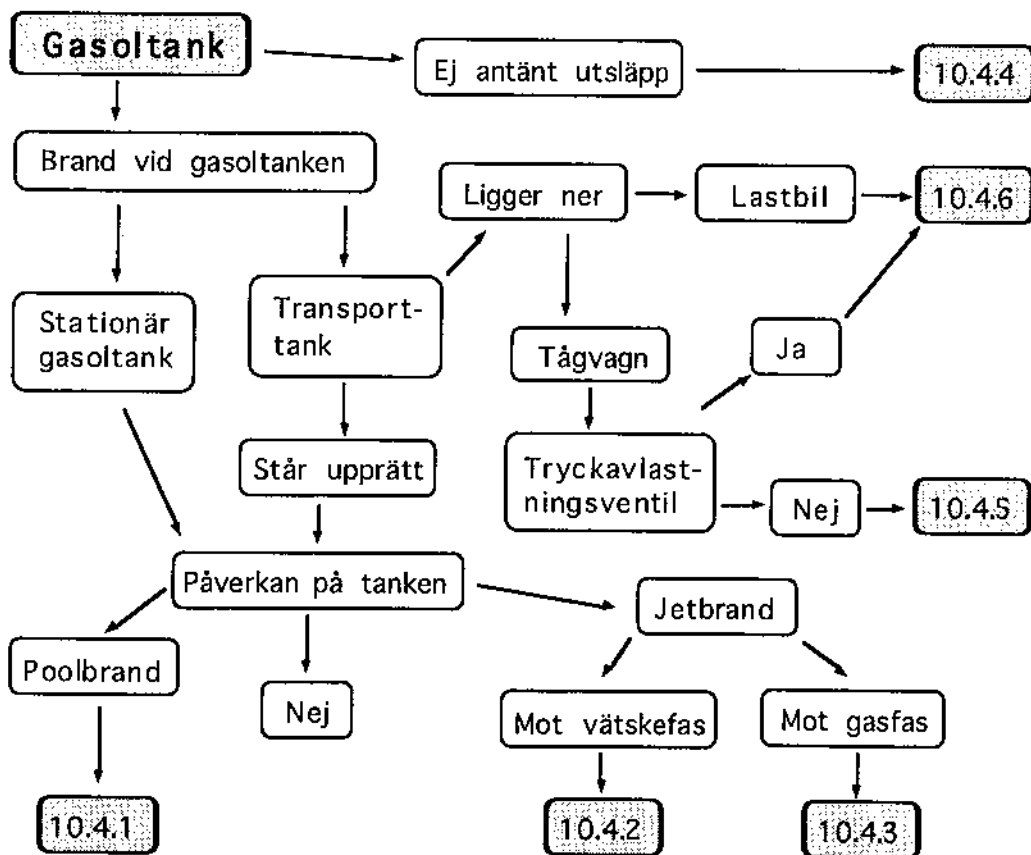
I rapporten har vid ett flertal tillfällen nämnts olika värmeflöden t ex $43,6 \text{ kW/m}^2$ som används för dimensionering av tryckavlastningsventiler eller 100 kW/m^2 som är den ungefärliga påverkan från en fullständig poolbrand runt en tank. Värmeflödet kan bestå av tre komponenter, strålning som är den enda delen som har "fjärrverkan", samt konvektion och konduktion. De två sistnämnda förutsätter att flammor eller rökplym direkt träffar objektet. I tabell 2 beskrivs verkan av några strålningsnivåer som är av intresse för personsäkerhet och brandspridningsrisk.

Slutligen kan nämnas att man på 80-talet genomförde sju insatsspel på olika platser i landet med skiftande kemikalier och medverkan från såväl räddningstjänsten som industrin. Övningarna analyserades av FOA och analysen publicerades som en rapport [198]. Efter att ha diskuterat med räddningsledare i två olika kommuner, anser författarna att det inte verkar som om den aktuella rapporten eller denna typ av frågor diskuteras och övas i tillräcklig grad ute i landet. Om så är fallet är det synd, då några viktiga generella slutsatser av vikt kunde dras utifrån spelen. Den viktigaste var att varning och skydd till befolkningen runt olycksplatsen dröjde, vanligtvis 10 - 30 minuter. Denna fördröjning kan vara livsavgörande för många personer, främst vid giftolyckor, men också för större gasutsläpp som antänds med fördröjning. Räddningsinsatsen fokuserades vanligen kring bekämpningsinsatsen, men författarna kunde inte se att man vid något av spelen använde vattenstrålar för att öka luftinblandningen i utsläppet, och därmed minska riskavstånden.

I kommuner där det finns ett större antal anläggningar med gasollager bör man göra insatsövningar utan allt för stora mellanrum så att både befäl och annan personal övas i att samverka i situationer som kräver defensiv taktik och där konsekvenslindring eller utrymning kan vara en viktig del av insatsen.

10.4 Olika olycksscenarier kräver olika taktik

Nedan har ett antal olika typfall vad gäller olyckor utomhus redovisats. Tankegångarna för att skilja typfallen åt framgår av flödesschemat i figur 7. Genom att följa pilarna i figuren erhålls hänvisning till respektive kapitel.



Figur 7 Flödesschema för att identifiera typolyckor enligt rapportens kapitelindelning

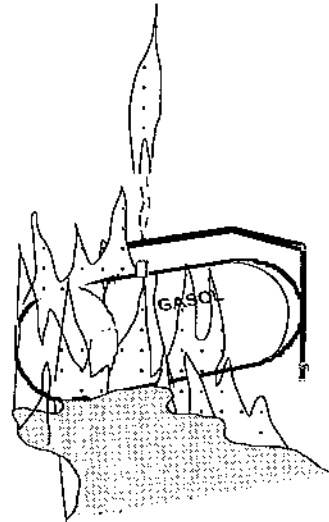
Sammanställningen har i de olika underkapitlen strukturerats på följande sätt:

- en beskrivning av olycksscenario
- den omedelbart dominerande faran och dess konsekvens
- tidsaspekten tills den akuta faran kan uppstå
- varningssignaler
- det område som skulle påverkas av den akuta faran om den uppstod
- vilka motåtgärder som rekommenderas
- positiva och negativa faktorer som kan påverka förloppet

10.4.1 Jämt utbredd brandpåverkan (poolbrand)

Brand under eller strax intill gasoltank som ger hög men ganska jämt utbredd värmepåverkan

Akut fara: Tanken sprängs då dess hållfasthet överskrides, huvudsakligen inre tryckökning. Vid antändning erhålls stor värmepåverkan inom gasmolnets utbredningsområde och dess omedelbara närhet. Har tanken värmts upp under längre tid blir det en varm BLEVE, dvs ett eldklot. Värmepåverkan skadar människor på längre avstånd än tryckvågen från explosionen. Missiler i form av tankdelar kan sprida branden till sin nedslagsplats.



Tidsaspekt: Explosion kan inträffa inom 10 minuter från brandstart om tanken har låg fyllnadsgrad och utsätts för en kraftig värmepåverkan, ingen övre tidsgräns så länge tanken påverkas av brand.

Varningssignaler: Tryckavlastningsventilen blåser kontinuerligt och med stigande tonhöjd. Om tankväggen börjar anta rödaktig färg är temperaturen över 600 °C

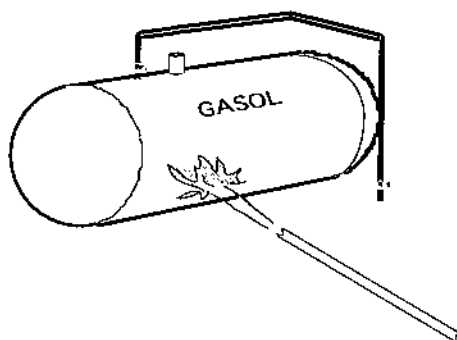
Influensområde: Storleken på det område som påverkas är beroende på mängden gasol. Generellt kan dock sägas att eldklotet oftast inte antänder något utanför 100 m radie, omkring 90 % av alla kringflygande fragment landar inom 300 m radie och ingen har flugit längre än 1200 m.

Motåtgärd: Att förhindra fortsatt brandpåverkan på tanken t ex genom släckning eller stängning av ventiler, eller kylning av tanken.

Positiva och negativa faktorer: Det är bra om tankens fyllnadsgrad kan verifieras då högre fyllnadsgrad innebär längre tid till fara. Ju mindre andel av tanken som utsätts för brandpåverkan ju bättre är det. Vind som blåser bort lågorna från tanken eller får dem att fladdra fram och tillbaka innebär lägre påverkan. Lågor tunnare än 1 m är optiskt tunna och har inte så stor uppvärmande effekt. Sfärer ger större antal kringflygande fragment, men de flyger inte så långt, cylindriska tankar ger oftast fyra eller färre delar, men de kan i extremfall flyga långt.

10.4.2 Punktuppvärmning av vätskefas (jetbrand)

Jetbrand som träffar gasoltank under vätskeytan. Värmepåverkan hög och punktformig (ett brinnande utsläpp med hastighet).



Akut fara: Tanken sprängs då dess hållfasthet överskrides. Vid antändning erhålls stor värmepåverkan inom gasmolnets utbredningsområde och dess omedelbara närhet. Har tanken värmts upp under längre tid blir det en varm BLEVE, dvs ett eldklot. Exploderar tanken efter kort tid är en kall BLEVE troligare dvs ett pannkaksformat moln. Värmepåverkan skadar människor på längre avstånd än tryckvågen från explosionen. Missiler i form av tankdelar kan sprida branden till sin nedslagsplats.

Tidsaspekt: Explosion kan inträffa inom 3-10 minuter om tanken har låg fyllnadsgrad och utsätts för en kraftig jetbrand, ingen övre tidsgräns så länge tanken påverkas av brand.

Varningssignaler: Tryckavlastningsventilen blåser kontinuerligt, tankväggen glöder.

Influensområde: Samma som i 10.4.1.

Motåtgärd: Att förhindra fortsatt brandpåverkan på tanken t ex genom släckning eller stängning av ventiler, eller kylning av tanken, vilket kräver upp till 120 l/m² min och är mycket svårt att genomföra.

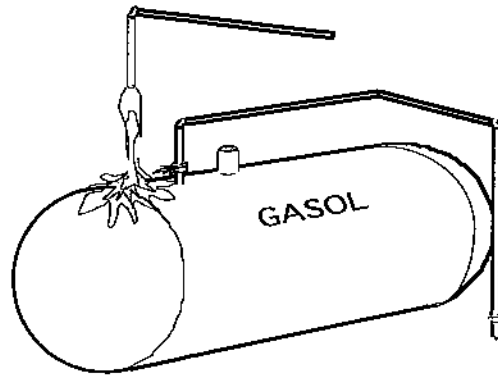
Positiva och negativa faktorer: Vind som blåser bort lågorna från tanken eller får dem att fladdra fram och tillbaka innebär lägre påverkan. Sfärer ger större antal kringflygande fragment, men de flyger inte så långt, cylindriska tankar ger oftast fyra eller färre delar, men de kan i extremfall flyga långt. Efter att färgen börjar brännas bort kan det vara möjligt att se vätskenivån i tanken vilket skall jämföras med brandens träffpunkt.

OBS: Det är inte säkert att tryckavlastningsventilen hinner öppna innan en BLEVE uppstår om uppvärmningen är punktformig och mycket häftig.

10.4.3 Punktuppvärmning av gasfas (jetbrand)

Jetbrand som träffar gasoltank över vätskeytan. Värmepåverkan hög och punktformig (ett brinnande utsläpp med hastighet).

Akut fara: Tanken sprängs då dess hållfasthet överskrides, huvudorsak försvagning av tanken. Vid antändning erhålls stor värmepåverkan inom gasmolnets utbredningsområde och dess omedelbara närhet. Exploderar tanken efter kort tid är en kall BLEVE troligare, dvs ett pannkaksformat moln. Värmepåverkan skadar människor på längre avstånd än tryckvågen från explosionen. Missiler i form av tankdelar kan sprida branden till sin nedslagsplats.



Tidsaspekt: Explosion kan inträffa inom 3 minuter om tanken har låg fyllnadsgrad och utsätts för en kraftig jetbrand, ingen övre tidsgräns så länge tanken påverkas av brand.

Varningssignaler: Säkerhetsventilen blåser, tankväggen glöder.

Influensområde: Samma som i 10.4.1.

Motåtgärd: Att förhindra fortsatt brandpåverkan på tanken t ex genom släckning eller stängning av ventiler, eller kylning av tanken, vilket kräver upp till 120 l/m² min och är mycket svårt att genomföra.

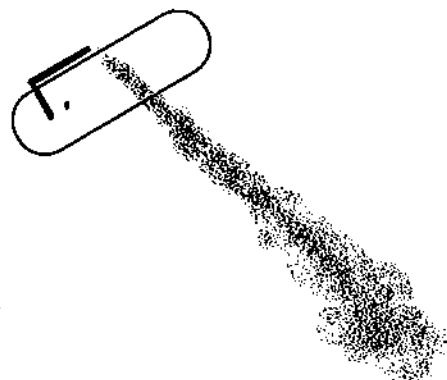
Positiva och negativa faktorer: Vind som blåser bort lågorna från tanken eller får dem att fladdra fram och tillbaka innebär lägre påverkan. Sfärer ger större antal kringflygande fragment, men de flyger inte så långt, cylindriska tankar ger oftast fyra eller färre delar, men de kan i extremfall flyga långt. Efter att färgen börjar brännas bort kan det vara möjligt att se vätskenivån i tanken, vilket skall jämföras med brandens träffpunkt.

OBS: Det är inte säkert att tryckavlastningsventilen hinner öppna innan en BLEVE uppstår om uppvärmningen är punktformig och mycket häftig.

10.4.4 Utsläpp utan antändning

Momentant eller kontinuerligt utsläpp utomhus som ej antänt

Akut fara: Antändning av utsläppet som leder till stor värmepåverkan inom gasmolnets utbredningsområde och dess omedelbara närhet. Gas som tränger in i byggnader eller andra håligheter leder vid antändning till stora tryckökningar som skadar eller förstör byggnader och kan kasta iväg losslitna delar som kringflygande fragment. Efter antändning kan scenariot övergå till något av 10.4.1, 10.4.2 eller 10.4.3 enligt ovan.



Tidsaspekt: En snabb förbränning kan inträffa så snart en gaskoncentration inom brännbarhetsområdet når fram till en tändkälla. Tiden blir alltså beroende på utsläppets storlek, den initiala luftinblandningen, vindhastigheten och avståndet till tändkällan.

Varningssignaler: Gaskoncentrationer som lokalt uppgår till 25 % - 50 % av undre brännbarhetsgräns tyder på att farligt område är nära.

Influensområde: Storleken på det område som påverkas är beroende på om utsläppet är momentant eller kontinuerligt, om det är kontinuerligt så är massflödet en viktig parameter. Hastigheten både på gasutsläppet och vinden samt väderförhållanden i övrigt liksom geografiska förhållanden spelar också en stor roll.

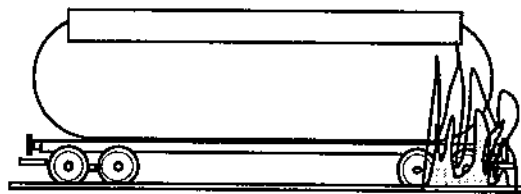
Motåtgärd: Stängning av ventiler, undanröjande av tändkällor och ökad utspädning av utsläppet med hjälp av uppåtriktade spridda vattenstrålar.

Positiva och negativa faktorer: Ju mer vind ju större utspädning. Utsläpp där det är trångt t ex mellan två hus kan ge längre riskavstånd. Ett gasolmoln som antänds i helt öppen terräng ger inte stor tryckverkan. Om luftvolymen är fylld med mer än 10 % rör, pelare eller andra konstruktioner kan det lokalt uppstå högre explosionstryck vid antändning. Detonation kan i princip endast uppstå inomhus under extrema förutsättningar.

OBS: Gasol är tyngre än luft och kommer att följa terrängens lutning och ansamlas i hålor. Vintertid kan vid kalla temperaturer finnas förutsättningar för att stora andelar av utsläppet stannar kvar i vätskefas. Då gasol inte är blandbar med vatten syns ett utsläpps utbredning under snön inte på snötäckets yta. Gasol är egentligen luktlös och odoriseras först vid lastning från bergrum till tågagnar och lastbil.

10.4.5 Brandpåverkan på järnvägstankvagn utan tryckavlastningsventil

Brand under eller strax intill gasollastad järnvägstankvagn utan tryckavlastningsventil



Akut fara: Tanken sprängs då dess hållfasthet överskrides.

Vid antändning erhålls stor värmepåverkan inom gasolnets utbredningsområde och dess omedelbara närhet. Har tanken värmts upp under längre tid blir det en varm BLEVE dvs ett eldklot. Värmepåverkan skadar människor på längre avstånd än tryckvågen från explosionen. Missiler i form av tankdelar kan sprida branden till sin nedslagsplats.

Tidsaspekt: Explosion kan inträffa inom ett fåtal minuter från brandstart om tanken har låg fyllnadsgrad och utsätts för en kraftig värmepåverkan, ingen övre tidsgräns så länge tanken påverkas av brand.

Varningssignaler: Signaler saknas, men läckande ventiler etc är ett möjligt varningstecken.

Influensområde: Storleken på det område som påverkas är beroende på mängden gasol. Generellt kan dock sägas att eldklotet oftast inte antänder något utanför

100 m radie, omkring 90 % av alla kringflygande fragment landar inom 300 m radie och ingen har flugit längre än 1200 m.

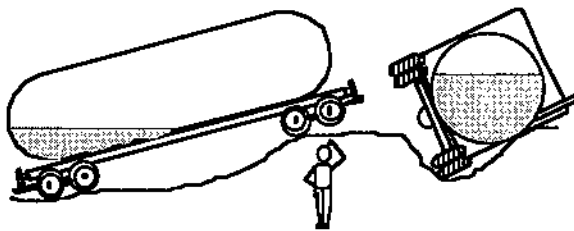
Motåtgärd: Kylning av tanken, eller att förhindra fortsatt brandpåverkan på tanken (släckning, stängning av ventiler, etc).

Positiva och negativa faktorer: Ju mindre andel av tanken som utsätts för brandpåverkan ju bättre är det. Vind som blåser bort lågorna från tanken eller får dem att fladdra fram och tillbaka innebär lägre påverkan. Lågor tunnare än 1 m är optiskt tunna och har inte så stor uppvärmande effekt. Sfärer ger större antal kringflygande fragment, men de flyger inte så långt, cylindriska tankar ger oftast fyra eller färre delar, men de kan i extremfall flyga långt. Återstrålning mot tanken.

10.4.6 Vält transporttank utan brandpåverkan

Vält transporttank med eller utan brand, tanken ligger mer eller mindre på sidan alternativt lutande i längsled.

Akut fara: Att tanken försvagats p g a yttre våld vid avåkning så att den får lägre hållfasthet. Vid brand är faran i princip samma som beskrivits i 10.4.1, 10.4.2, 10.4.3 och 10.4.5 ovan med extra försiktighet.



Tidsaspekt: Ingen ändring i tidsaspekt specifikt p g a att tanken står snett.

Varningssignaler:

Influensområde: Vid brand blir influensområdet samma som i 10.4.1 medan det vid utsläpp blir som vid 10.4.4. Vid flyttning eller riskabel tömning bör en uppskattning av riskzon göras så att en eventuell utrymning har gjorts innan åtgärder påbörjas.

Motåtgärd: Om tanken läcker, se 10.4.4. Om tanken läcker och brinner se 10.4.1, 10.4.2, 10.4.3 och 10.4.5. m tanken inte läcker och inte brinner så avvakta stöd av expertis på tankhållfasthet innan tanken flyttas eller töms.

Positiva och negativa faktorer: Väderomslag till varmare väder eller starkt solsken leder till uppvärmning av tanken och därmed högre inre tryck. Om tanken ligger på sida kan den inte tömmas från vätskefas i sin helhet. Tömning av gasfas innebär nedkylning av tankens kvarvarande vätskeinhåll som kan ge spänningar i tankväggen. Om en liggande transporttank brandpåverkas så att tryckavlastningsventilen öppnar är det stor sannolikhet att utflödet blir från vätskefasen. Ett sådant utflöde ger mindre effektiv sänkning av tanken energiinhåll än ett gasfasutsläpp eftersom gasen även tar med sig ångbildningsvärmets ut, vilket inte vätskan gör. Efter ett tag nås eventuellt vätskeytan. Utflödet genom ventilen blir då s k tvåfasflöde, vilket bl a innebär att massflödet sjunker betydligt i förhållande till enfasflöden.

11 Forskningsbehov - vidare insatser

Projektet har identifierat ett antal områden inom vilka fördjupade kunskaper är av stor vikt, jämför även t ex HSE:s sammanställning [33]. Det kan te sig som omfattande förslag men många av punkterna nedan går in i varandra.

Tryckavlastning

- En inventering bör göras över de existerande filosofier och dimensioneringskriterier för tryckavlastningsventiler som tillämpas i olika länder, och hur de skiljer sig från de svenska.
- Det bör utarbetas en specifikation för vilka krav som skall ställas på en tryckavlastningsventil för att den skall få kallas "säkerhetsventil".
- Den ovan nämnda kravspecifikationen bör spridas som en rekommendation på dimensionering/utförande.
- Bestämning av verkligt flöde i tryckavlastningsventiler genom fullskaleprov med propan, butan och eventuellt blandningar. Man vet idag att tvåfasflöde medför lägre flöden än både enfas vätska eller enfas gas, dock inte hur mycket. Shell Research har sedan en tid planer på ett sådant projekt som eventuellt kunde delfinansieras. Resultatet skulle bli exaktare dimensioneringsregler för tryckavlastningsventiler. Shell avser att köra på stora ventiler, borde kompletteras med typiska ventiler för mindre tankar.
- I det ovan nämnda projektet ingår också att undersöka flamgeometrin och flamstrålningen från olika tvåfasblandningar mellan gasolgas i vätskefas och i gasfas som strömmar ut genom en säkerhetsventil.
- Eftersom fullskaliga flödesbestämningar med propan medför en onödigt stor risk och även kostnad så föreslås att kompletterande kapacitetsprovningar görs med luft eller annat medium genom ventiler resp ventiler med tillhörande arrangemang.
- En eller flera av de simuleringsmodeller som tagits fram för att beräkna tankuppvärmning bör införskaffas, och ett antal olika typfall genomräknas för att få ett bättre grepp på vilka säkerhetsmarginaler som olika dimensioneringar av tryck-avlastningsventiler på gasoltankar ger vid varierande brandpåverkan.

Isolering

- En fördjupning bör göras i litteratur och erfarenheter från t ex HSE, Shell och BAM. Resultatet skall bli rekommendationer för vilka provningar och krav som bör uppfyllas för olika skyddsbehov, samt en inventering och sammanställning av tillgängliga isolersystem.
- Användbara metoder för oförstörande tankinspektion på isolerade och eller nergrävda tankar bör utarbetas och kunskapen om de som finns spridas. Det finns idag metoder för att undersöka tömd tank från insidan med ultraljud. Man kan även kontrollera status hos katodiska skyddssystem. I Danmark förekommer att sk pröveplader (provplattor) grävs ned tillsammans med tankar så att inspektion kan göras utan att hela tanken grävs upp. I Österrike har utarbetats en metod i vilken ljudet registreras under provtryckning av den nya tanken och sedan kan jämföras med nya mätningar.

- Andra isoleringsalternativ, t ex bedömning av effekten av enkla strålnings-skydd i plåt, lätt demonterbara för inspektion, bör undersökas. Värmestrålning är beroende av absoluta temperaturen i fjärde potens varför även en måttlig sänkning av temperaturen ger ett ganska stort bidrag vad gäller reduceringen av strålningsintensiteten.
- Med någon eller några av de simuleringsmodeller som nämnts ovan kan också ett antal olika typfall på isolering genomräknas för att få en bättre förståelse för vilka säkerhetsmarginaler som kan uppnås.

Vattenkyllning

- Möjligheter till punktskydd med vatten för att skydda mot påverkan från jet-bränder kan undersökas. Ett sådant skydd skulle kunna vara ett alternativ till isolering på känsliga säkerhetskomponenter. Skall även storskaliga jetbränder, tänkbara inom raffinaderier och depåer, inkluderas krävs internationella insatser.

Vatten för utspädning av gasmoln

- Metoder för att med utspädning av ej antända kontinuerliga utsläpp av tunga gaser bör undersökas närmare. Gjorda försök med fast installerade ridåer bör utvärderas samt kompletterande försök utföras för att utröna möjligheterna till utspädning med hjälp av mobila strålrör eller sk strålkärl. Försök med fasta installationstyper visar att 4 - 5 gångers utspädning är möjlig, men effekten av vanliga strålrör är inte undersökt. Resultatet av en utspädning skulle bli ett avsevärt minskat riskområde och därmed minskad antändningsrisk. En forskningsinsats skulle syfta till att mäta utspädningseffekten av vattenstrålar med olika sprayvinkel, samt med strålen på olika avstånd från gasutsläppet både i längd och i sida. Undersöka effekten av utspädning med vattenstrålar (manuella strålrör), med olika flöde, spridningsvinkel, placering, riktning. Ett sådant projekt kan ge direkta riktlinjer både för gasol och giftiga gaser.

Skydds- och säkerhetsavstånd

- Det saknas underlag för skyddsavstånden enligt SIND:FS 1981:2 tabell 5:3. Idag är tabellen en blandning av skydd av tanken och skydd av omgivningen. För stora tankar krävs större avstånd till byggnader än för små trots att de stora tankarna har större termisk tröghet och därför tål viss uppvärmning bättre. Det tas inte heller någon hänsyn till byggnadens höjd i förhållande till avståndet. Med avseende på skyddet åt andra hållet, dvs risk från tanken mot omgivningen så kan kunskapsinhämtning göras från t ex HSE där man har utarbetat stöd i form av modeller som används av myndigheten för avgörande av lämplighet för lokaliseringar. Vid beräkning av skyddsavstånd skall även hänsyn tas till influensområden från gasutsläpp som inte antänds direkt.
- Vad gäller säkerhetsavstånd så pågår ett sådant projekt för närvarande i BRANDFORSKs regi.

Kompositmaterial

- Kompletterande, välinstrumenterade försök med olika brandscenarier skulle behöva utföras. Sådana försök kan utgöra underlag för godkännanderegler. Man kan då utforma en entydig kravbild på sådana behållare med avseende på brand, som kan tillämpas av myndigheter och användare.

- Användningen av kompositmaterial för gasoltankar är något som hittills haft endast nationell spridning. Det som gjorts bör framgent redovisas internationellt som en sammanställning av erfarenheter, försök, m m angående användning av kompositmaterial.
- Det finns även en del aspekter på val av kompositmaterial som bör utredas och beskrivas bättre, nämligen inverkan av olika kompositer/linermaterial på tankens egenskaper i brandhänseende.
- Vilka kassationskriterier som skall tillämpas för använda behållare är också okänt och bör utredas.

Bearbetning/komplettering av rekommendationer utifrån "state of the art"

- Inarbeta konkreta rekommendationer i t ex SGF:s och SBF:s skrifter baserat på rapportens slutsatser, t ex kring dimensionering och utförande av vattenkylsystem.
- Fakta från denna rapport kompletterat med annat lämpligt material omsätts i ett utbildningspaket. Anläggningsinnehavare, föreståndare bör ha en del, räddningsnämnder och deras tillsyningsmän en och insatspersonal från räddningstjänsten en annan. För anläggningsinnehavare ingår underhåll av gasolsystem som en viktig del.

Fastställande av "dimensionerande scenarier"

- Det bör göras en scenarieanalys med hänsyn till tankstorlek, ledningsdimensioner m m, som underlag till en lathund för att uppskatta påverkansområde. Analysen bör leda till ännu mer konkreta tumregler för när och hur, farlig situation uppstår vid olyckshändelser med gasolsystem och hur långt de kan ge konsekvenser.
- Den ovan nämnda scenarieanalysen skulle också kunna utgöra underlag för standardiserade testmetoder för brandpåverkan på gasoltankar. Det bör finnas internationellt intresse för sådant arbete.

BLEVE

- BLEVE är alldeles för dåligt känt som fenomen. Man vet att tankgeometri, tankjocklek och innehållets status är viktiga parametrar som påverkar om det blir en BLEVE eller ej. Med mera kunskap kan kanske många faror elimineras i framtiden. Forskning om BLEVE är troligen för kostsam för att kunna bedrivas av Sverige ensamt varför det troligen är fråga om delfinansiering av internationella forskningsinsatser.
- Felmoder på tankar, när, var, hur och varför spricker tankar som dom gör. Idag vet man att cylindriska tankar oftast fallerar längs med tanken för att sedan spricka upp circumferentiellt, dvs runt midjan, och mera sällan endast circumferentiellt. Likaså vet man att sfäriska tankar ger upphov till fler fragment än cylindriska då de brister. Det finns dock ingen färdig metod för att förutsäga felmoder så att de kan förhindras eller deras konsekvenser mildras.
- Projektilbildning, hur stora de blir samt hur långt de flyger är också ett område som behöver utvecklas. En del arbete har utförts, även med avseende på projektilernas konsekvenser för omgivningen. Detta arbete skulle kunna utgöra input för riskanalyser, bestämning av säkerhets- och skyddsavstånd.
- Behovet och nyttan av fjärrmanövrerad "fail-safe" huvudavstängning på tank bör utredas.

Referenser

- [1] H Persson, J Nählinder, H Tuovinen, "Brandrisker vid lagring och hantering av brandfarlig vara", SP RAPPORT 1990:18.
- [2] Proceedings från konferens, "The safe handling of pressure liquefied gases", London 26-27/11 1992.
- [3] SFS 1988:868, "Lagen om brandfarliga och explosiva varor".
- [5] SFS 1977:1160, "Arbetsmiljölagen".
- [4] SFS 1986:1102, "Räddningstjänstlagen".
- [6] "Större gasolanläggningar SGF".
- [7] SIND:FS 1981:2 "Kungörelse med tillämpningsföreskrifter till Förordningen om brandfarliga varor".
- [8] AFS 1989:6 "Storskalig kemikaliehantering".
- [9] SIND:FS 1983:2 "SÄI:s kungörelse om klassning vid verksamhet med brandfarlig vara".
- [10] SS 421 08 20 "Klassning av explosionsfarliga områden".
- [11] SS 421 08 21 "Elinstallationer i riskområden med explosiv gasblandning".
- [12] SS 421 08 22 "Potentialutjämning i riskområden med explosiv gasblandning".
- [13] "Tryckkärlsnormen", SIS-Tryckkärlskommissionen 1987.
- [14] "Cisternanvisningar III - Anvisningar för stationära lagercisterner för brandfarliga kondenserade gaser", SIS-Tryckkärlskommissionen 1991.
- [15] SÄI-INFO 1994:2, "Nyhet! Gasolflaskor".
- [16] "Mindre gasolanläggningar SGF".
- [17] "Gasolhandbok", Hydrosafe AB januari 1992.
- [18] SRVFS 1992:4 "Statens Räddningsverks föreskrifter om inrikes väg- och terrängtransport av farligt gods (ADR-S)".
- [19] SRVFS 1992:7 "Statens Räddningsverks föreskrifter om inrikes transport av farligt gods på järnväg (RID-S)".
- [20] SRVFS 1994:10 "Statens Räddningsverks föreskrifter om internationell transport av farligt gods på väg (ADR)".
- [21] SRVFS 1994:11 "Statens Räddningsverks föreskrifter om internationell transport av farligt gods på järnväg (RID)".

- [22] SÄIFS 1985:5 "SÄI:s kungörelse med föreskrifter om ändring av SIND:FS 1981:3".
- [23] SÄIFS 1990:2 "Föreskrifter om hantering av brandfarliga gaser och vätskor i anslutning till vissa transportmedel samt Allmänna råd".
- [24] SÄI-INFO 1992:5, "Kontroll av gasolanläggningar".
- [25] "SBF:s rekommendationer 9:2 1984, Industrins gasolanläggningar".
- [26] K Brandsjö, "Gasol - Bra bränsle, men obestridlig katastrofrisk".
- [27] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1990".
- [28] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1991".
- [29] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1992".
- [30] J. Ondrus, "Brandförlopp", LTH Lund 1989
- [31] K Moodie, "Experiments and modelling:- An overview with particular reference to fire engulfment", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 149 - 175.
- [32] G. V. Hadjisophocleous, N. U Aydemir, C. M. Yu, A. C. M. Sousa, F. A. Stewart and J. E. S. Venart, "Fire engulfment of pressure-liquefied gas tanks: Experiments and modeling", *ASTM STP 1150* 1992.
- [33] I R M Leslie and A M Birk, "State of the art review of pressure liquefied gas container failure modes and associated projectile hazards", *Journal of Hazardous Materials* nr 28 1991, s 329 - 365.
- [34] B. Droste, "Fire protection of LPG tanks with thin sublimation and intumescent coatings", *NFPA Fire Technology* augusti 1992.
- [35] C.A. Mc Devilt, C. K. Chan, F. R. Steward and K. N. Tennakore, "Initiation step of BLEVEs", *Journal of Hazardous Materials* nr 25 1990 s 169 - 180.
- [36] J. E. S. Venart, G.A Rutledge, U. K Sumathipala and K. F. Sollows, "The BLEVE exploded - Anatomy of a boiling liquid expanding vapour explosion", *Proc. of the 9th Tech. Sem. on Chem. Spills*, Edmonton juni 1992 s 109 - 126.
- [37] NGS 1204 "Nordic rules for the application of the nonstandard steel OX 520", *Metallnormcentralen* 1977.
- [38] W. Schoen and B. Droste, "Full scale fire tests with unprotected and thermal insulated LPG storage tanks", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 41 -53.
- [39] W. Schoen and B. Droste, "Investigation of water spraying systems for LPG storage tanks by full scale fire tests", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 73 - 82.
- [40] K. Moodie, L.T. Cowley, R. B. Denny, R. B. Small and I. Williams, "Fire engulfment tests on a 5 tonne tank", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 pp 55-71.

- [41] K Moodie, K Billinge and D P Cutler, "The fire engulfment of LPG storage tanks", IChemE Symposium series no 93.
- [42] G Hadjisophocleous, A. C. M. Sousa and J. E. S. Venart, "A study of the effect of the tank diameter on the thermal stratification in LPG tanks subjected to fire engulfment", Journal of hazardous materials 25 1990 pp 19-31.
- [43] G Hadjisophocleous, A. C. M. Sousa and J. E. S. Venart, "Mathematical modelling of LPG tanks subjected to full and partial fire engulfment", Int. journal for numerical methods in engineering, vol. 30 1990 pp 629-646.
- [44] A M Birk, "Modelling the response of tankers exposed to external fire impingement", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988, s 197 - 225.
- [45] U. K Sumathipala, N. U Aydemir, G Hadjisophocleous, R. Gray and J. E. S. Venart, "Cargo response in cylindrical shipboard tanks to practical fire exposure: Models and experiments", Proc. of the 3rd UK national conf. on Heat transfer incorporating 1st european conf. on thermal sciences vol. 1, I of Chem. E. publ. Hemisphere publ. Corp. 1992.
- [46] G V Beynon, L T Cowley, L M Small and I Williams, "Fire engulfment of LPG tanks: HEATUP, a predictive model", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 227 - 238.
- [47] P K Ramskill, "A description of the "ENGULF" computer codes - Codes to model the thermal response of an LPG tank either fully or partially engulfed by fire", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 177 - 196.
- [48] J N Davenport, "Large-scale jet fires", Proceedings från konferens, The safe handling of pressure liquefied gases, London 26-27/11 1992.
- [49] J. F. Bennet, L. T. Cowley, J N Davenport and J J Rowson, "Large scale natural gas and LPG jet fires: Final report to the CEC", Shell Research TNER.91.022 1991.
- [50] J. F. Bennet, T. Cotgreave, L. T. Cowley and L. C. Shirvill, "Shell flame impingement protection programme, part 1-3 Shell Research Ltd", Thornton research Center.
- [51] J. Cook, Z. Bahrami and R. J. Whitehouse, "A comprehensive program for calculation of flame radiation levels", Journ of loss prev in proc ind, vol.3 1990.
- [52] S. Lamnevik and R. Forsén, "Riskanalys gasolvagnar med och utan säkerhetsventil", FOA dnr 93-3527/S.
- [53] M. Giot, "Overall and detailed calculations of two-phase choked flows", Proceedings från konferens, The safe handling of pressure liquefied gases, London 26-27/11 1992.
- [54] J. Wilday, "Pressure relief systems", Proceedings från konferens, The safe handling of pressure liquefied gases, London 26-27/11 1992.

- [55] K Moodie and S F Jagger, "Flow through pressure relief devices and the dispersion of the discharge", IChemE Symposium series No 102 s 215 - 245.
- [56] B C R Ewan and K Moodie, "Structure and velocity measurements in unexpanded jets", Combustion Science and Technology 1986 vol 45 s 275 - 288.
- [57] "A velocity decay scheme for unexpanded sonic jets from vented vessels", 5th Int loss prevention Symposium, Cannes sept 1986 s p4-1 - p4-18.
- [58] K Moodie and B C R Ewan, "Jets discharging to atmosphere", Journal of loss prevention in process industries vol 3 januari 1990.
- [59] F C Politz, "Managing overpressure - more than safety relief protection", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 265 - 272.
- [60] F J Heller, "Safety relief valve sizing: API versus CGA requirements plus a new concept for tank cars", API 1983 proceedings-refining dept. vol 62 s 123-140.
- [61] T. A. Kletz, "The protection of pressure vessels against fire", Fire prevention 103 (1973 eller 1974).
- [62] G. Hewitt, "Modelling of release and flow of two-phase jets", Proceedings från konferens, The safe handling of pressure liquefied gases, London 26-27/11 1992.
- [63] B C R Ewan, K Moodie and P J Harper, "A study of two phase critical pipe flow models for superheated liquid releases", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 273 - 286.
- [64] U. K Sumathipala, J. E. S. Venart and F. A. Stewart, "Two-phase swelling and entrainment during pressure relief valve discharges", Journal of Hazardous Materials nr 25 1990 s 219 - 236.
- [65] AFS 1990:15 "Tryckkärl".
- [66] Kommunikation med Börje Stens, SA, 1994 transport av farligt gods på väg (ADR).
- [67] S Wong and F R Steward, "Radiative interchange factors between flames and tank car surfaces", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 137 - 146.
- [68] N. U Aydemir, V K Magapu, A. C. M. Sousa and J. E. S. Venart, "Thermal response analysis of LPG tanks exposed to fire", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 239 - 262.
- [69] S. Casarino, "Above ground mounded storage for LPG: What future?", CONCAWE major hazard workshop on preventing and mitigating accidents.
- [70] B Droste and U Probst, "Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks", BAM Forschungsbericht 125 juni 1986.

- [71] "Interim jet fire test for determining the effectiveness of passive fire protection materials", Oljedirektoratet YA-771, 1994.
- [72] L. C. Shirvill, "Performance of passive fire protection in jet fires", I Chem E Symposium series no 130, nov 1992.
- [73] Dr G Ramachandran, "Risk of explosion from trains carrying LPG and other dangerous goods", Fire Surveyor Juni 1990 s 8 - 13.
- [74] I Williams, "Fire protection of pressurized LPG tanks", 7th european conference on flammability and fire retardants, London 9 - 10/6 1983 s 12 - 13.
- [75] A F Roberts and K Moodie, "The role of insulating coatings in the fire protection of LPG vessels", JOCCA no 5 1989.
- [76] A F Roberts, D P Cutler and K Billinge, "Fire engulfment trials on insulated LPG storage tanks", IChemE Symposium series 82 1983.
- [78] W Schön and M Mallon, "Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks", BAM Forschungsbericht 146 nov 1987.
- [79] G A Bray, "Fire protection of liquefied petroleum gas storage tanks", IGE journal 1964.
- [80] R. Capper, "Controlling oil & LPG fires", Fire surveyor apr. 1985.
- [81] G. Bray, "Water spray protection of LPG hazards", okänd publikation SP-brandtekniks bibliotek.
- [82] NFPA 58 "Storage and handling of liquefied petroleum gases", 1992.
- [83] "The storage of LPG at fixed installations", HSE HS(G)34 1987.
- [84] K Billinge, K Moodie and H Beckett, "The use of water sprays to protect fire engulfed LPG storage tanks", 5th International loss prevention symposium Cannes sept 1986.
- [85] Y Lev, "Cooling sprays for hot surfaces", Fire Prevention, vol 222, sept 1989 s 42 - 49.
- [86] Y Lev and D C Strachan, "Cooling water requirements for the protection of metal surfaces against thermal radiation", Fire Technology vol 25 no 3 s 213 - 229 1989.
- [87] Y Lev, "The protection of heated metal surfaces by water spray", IBC/HSE European seminar on "The pressurised storage of flammable liquids", London 24 - 26/10 1988.
- [88] Y Lev, D C Strachan, "Dry testing of water spray systems", Journal of fire sciences vol 7 no 1 s 3 - 21 1989.
- [89] K Moodie, "The use of water spray barriers to disperse spills of heavy gases", Plant operations progress okt 1985.
- [90] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1985".

- [91] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1986".
- [92] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1987".
- [93] "Sprängämnesinspektionens årsberättelse 1988 - 1989".
- [94] FIRST, a journal from Skandia International 1985, "BLEVE, the tragedy of San Juanico", Skandia, 1985.
- [95] K. Brandsjö, "Gasolexlosionen i Mexico - Här fanns 20 milj liter flytande gasol", Brandförsvaret nr. 2 1985.
- [96] G. Arturson and K Brandsjö, "Explosions- och brandkatastrofen i San Juanico".
- [97] C M Pietersen, "Analysis of the LPG incident in San Juan Ixhuatepec", Mexico City, 19 November 1984.
- [98] L D Watrous, "Freight train derailment and fire", Fire Journal november 1970.
- [99] "12 brandmænd dræbt ved F-gasexplosionsbrand" okänd dansk tidning ursprungskälla NFPA Journal 1/74 s 52 - 57.
- [100] G. Arturson, R Blomberg and K Brandsjö, "Katastrofmedicinska studier i Spanien - Tankbilskatastrofen i Los Alfaques 11 juli 1978", KAMEDO-rapport 40.
- [101] J. B. R van der Schaaf and C. F. Stennenberg, TNO, "Investigation into the circumstances surrounding an accident in Nijmegen involving a tanker".
- [102] Per Sturk SÄI, "Brand i tankbil för gasol i Södertälje 8/4 1987" m fl artiklar.
- [103] O. Wennberg and J. Aspgren, "Konstig placering av säkerhetsventilen", B&R 6-7/87.
- [104] P. Sturk, "Utbildningen måste ses över", B&R 6-7/87.
- [105] I. Hansson, "Räddningskåren kunde inte ha handlat annorlunda", B&R 8-9/87.
- [106] "Ovana nära bli BLEVE", Brandförsvaret 10/85.
- [107] S. L. Herman, "What we didn't learn from the Waverly tragedy", Fire Engineering februari 1992.
- [108] L Holm, "Den här gången gick det bra", Sirenen 1/91.
- [109] L Holm, "Räddningskårens utryckningsrapport", 901217.
- [110] P. Kemi, "Gävle - en hårsman från en gasololycka", Brandförsvaret 3/1985.
- [111] A. Rauswall, "Rapport angående urspårningen av gasolvagn fredagen den 15/1 1982".

- [112] "Train BLEVE causes five-alarm structural fire", Fire command sept. 1977.
- [113] R. Chatterton, "BLEVE sped up", Fire command feb. 1987.
- [114] Ingvar Hansson SRV, "Gasolbrand med cisternsprängning i Norrahammars bruk", Norrahammar, 5/9 1969.
- [115] B Sangberg, "Cisternsprängning", Brandförsvar 2/70.
- [116] B. Sangberg, "PM: "Gasolbrand med cisternsprängning i Norrahammars bruk", Norrahammar, den 5.9.1969", SÄI Dnr 930/657.
- [117] K. Brandsjö, "PM från preliminär utredning av gasololyckan inom Norrahammars bruk den 5 september 1969".
- [118] Polisens förhörprotokoll med Tore Wallin och Lars-Erik Bergsten.
- [119] "Propanexplosionen i Arendal (Göteborg) den 8 maj 1981", Göteborg dec 1981.
- [120] O Fredholm, SÄI-rapport , "Gasmolnsolyckan Göteborg 1981-05-08".
- [121] "Tände Brandbilen gasmolnet?" Brandförsvar 6/7 1981.
- [122] "Gas explosion rocks small Texas town", Industrial fire world juli/augusti 1992.
- [123] G. R. Collins, "BLEVE in an LPG storage yard", Fire Command sept 1986.
- [124] "Propane storage tank ruptures; Resulting fire causes \$ 1,8 million in damages", NFPA Journal, jan/feb 1994.
- [125] "Flüssiggasexplosion", Feuerwehr 2/89.
- [126] J. N. Badgett, "LP-gas tank BLEVE takes an unexpected turn", Fire command aug. 1984.
- [127] J. Sjöstedt, "Utryckningsrapport 84-01-31".
- [128] K Brandsjö, anteckningar 31/1 1984 Gunnebo bruk.1984, KAMEDO-rapport 51, FOA 1986.
- [129] USFA report available on Perryville Maryland propane gas explosion, Industrial fire world juli/aug. 1992.
- [130] R. Hedström, "Information om inträffad brand i gaslager torsdagen den 17/6 -76 i Köping", Köpings Kommun, Brandväsendet Dnr 328/76.
- [131] Telefonsamtal med Bo Norling, AGA Gas AB 940912.

- [132] En aerosolfabrik i England brann ner den 31/3 1993. Branden startade då en truck körde över en aerosolflaska som fallit ner på marken inom minuter brann det i närliggande pallar med lagrade aerosolflaskor. Ingen kom allvarligt till skada, men de materiella förlusterna uppgick till £ 500.000 (ungefär SEK 6 miljoner).
- [133] C. Wiltman and G. Johansson, "Gasolen antändes av dricksvattenfontän", B&R 8-9/87.
- [134] M. Lundh, "Olyckan hade aldrig hänt om de hade placerats rätt", B&R 6-7/86.
- [135] Å. Andersson, "Ett rent under att ingen människa dog", B&R 4/87.
- [136] C. Rudberg, "Hur nära en BLEVE var det i Sundsvall?", Brandförsvär 67/1985
- [137] J. Bradish, "The fatal explosion in Buffalo", Fire command mars 1984.
- [138] SÄI-INFO 1992:4, "Emmabodaexplosionen".
- [139] "Våldsam explosion på idrottsplats", Brand & Räddning nr 1 1993.
- [140] L. Olin, "Motorgas - dålig säkerhet", Brandförsvär 3/1985.
- [141] G. Löfgren, "Allvarligt i Borlänge: Ännu ett motorgastillbud", Brandförsvär 5/1985.
- [142] U. Sender, "Farligt att manipulera överfyllnadsskyddet", Brandförsvär 4/1985.
- [143] "Fire in the bus garage of the Central Netherlands transport company", 6/7 1990.
- [144] "LPG-powered vehicle explodes blast demolishes two garages", Fire mars 1982.
- [145] B. Lewerentz and A. B. Johansson, Undersökningsprotokoll upprättat med anledning av explosion vid Biomedicinska Centrum, Husargatan 3, Uppsala 1982-10-05, Uppsala Polisdistrikt A3759/82".
- [146] J. R. Cashman, "Explosion, fire at LPG mixing plant threatens several major exposures", Okänd publikation från SBF.
- [147] J. A. Davenport, "Explosion losses in industry", Fire journal jan. 1981.
- [148] S Ames and D Crowhurst, "Domestic explosion hazards from small LPG containers", Journal of Hazardous Materials nr 19 1988 s 183 - 194. FOA 1979.
- [149] K. Nyrén and S. Winter, "Two phase discharge of liquefied gases through pipes: field experiments with ammonia and theoretical model", FOA report B 40139-C1 jan. 1984.
- [150] L. Thaning and S. Winter, K. Nyrén, "Uppkomst och utbredning av explosive och giftiga gasmoln", FOA report E 40036 okt. 1988.

- [151] S. Winter and P-O Granbom, "Kondenserade gaser under vinterförhållanden", FOA rapport C 40305-4.5 dec. 1992.
- [152] "Riskanalysmetodik rörande kemikalieolyckor", Brandforskansökan från FOA.
- [153] "Säkerhetsanalys; naturgas och gasol", SGF rapport 92:3, Svenska gasföreningen, mars 1992.
- [154] P. Moricz, "Gasolstationer: riskanalys", Sydkraft AB sept. 1990.
- [155] T. F. Barry, "Application of fire and explosion risk assessment to an LPG bulk storage facility", ASTM STP 1150 1992.
- [156] Dr G Ramachandran, "Risk of explosion from trains carrying LPG and other dangerous goods", Fire Surveyor Juni 1990.
- [157] N. Hurst and M. Trainor, "Quantified risk assessment for liquefied gas installations", The safe handling of pressure liquefied gases, London 26-27/11 1992.
- [158] W P Crocker and D H Napier, "Assessment of mathematical models for fire and explosion hazards of liquefied petroleum gases", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 109 - 135.
- [159] K W Blything and A B Reeves, "An initial prediction of the BLEVE frequency of a 100 te butane storage vessel", SRD R 488, HSE.
- [160] S Lamnevik and R Forsén, "Förstudie explosioner i tunnlar", FOA dnr 93-4549/S.
- [161] S Lamnevik, R Forsén and O Hertzberg, "Liseberg commuter station - A risk analysis", Conference: Underground openings for public use, Gjøvik Norge 14 - 17/6 1994.
- [162] W J S Hirst, "Combustion of large-scale jet-releases of pressurised liquid propane", 3rd symposium on heavy gas risk assessment D Reidel Publishing Co 1986.
- [163] M Heinrich, E Gerold and P Wietfeldt, "Large scale propane release experiments over land at different atmospheric stability classes", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 287 - 301.
- [164] K Gugan, "Unconfined vapour cloud explosions I of Ch E 1979".
- [165] "Unconfined vapour cloud explosions: frequency and consequences", Loss prevention news apr.-jun. 1991.
- [166] R. W. Prugh, "Quantitative evaluation of "BLEVE" hazards", Journ. of fire prot. engr. 3 (1) 1991.
- [167] I. Thomas, "A method for predicting the effect on the surroundings following a vapour cloud explosion", Fire Australia, winter 1989.
- [168] R. L. Page, "The technical aspects of unconfined vapour cloud explosions and the TNT model", Industrial fire safety maj/juni 1983.

- [169] D K Pritchard, "A review of methods for predicting blast damage from vapour cloud explosions", *Journ of loss prev in proc ind*, vol.2 1989.
- [170] A C van den Berg and A Lannoy, "Methods for vapour cloud explosion blast modelling", *Journal of Hazardous Materials* nr 34 1993 s 151 - 171.
- [171] S R Sheild, "A model to predict radiant heat and blast hazards from LPG BLEVEs", *AIChE Symposium series* 89 s 139 - 149 1993.
- [172] A. D. Johnson, "A model for predicting thermal radiation hazards from large scale LNG pool fires", *Shell research Ltd*.
- [173] K. Cassidy HSE, "National and international regulation and risk assessment - A technical overview", *The safe handling of pressure liquefied gases*, London 26-27/11 1992.
- [174] M Goose, "Risk assessment for LPG using LPG RISKAT".
- [175] "Risk assessment for installations where liquefied petroleum gas (LPG) is stored in bulk vessels above ground", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 357 - 374.
- [176] J H Shortreed and A Stewart, "Risk assessment and legislation", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 315 - 334.
- [177] G Purdy, H S Campbell, G C Grint and L M Smith, "An analysis of the risk arising from the transport of liquefied gases in Great Britain", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 335 - 355.
- [178] H Giesbrecht, "Evaluation of vapour cloud explosions by damage analysis", *Journal of Hazardous Materials* nr 17 1988 s 247 - 257.
- [179] R J Bettis, P F Nolan, K Moodie, "Two phase flashing releases following rapid depressurisation due to vessel failure", *IChemE Symposium series* 102.
- [180] R J Bettis, S F Jagger, "Some experimental aspects of transient releases of pressurised liquefied gases", *IChemE Symposium series* 130.
- [181] B C R Ewan, K Moodie, "Evaluation of a numerical critical pipe flow model with wall nucleation", *International journal of multiphase flow* vol 16 no 5 s 751 - 759, 1990.
- [182] B H Hjertager, "Computer modelling of turbulent gas explosions in complex 2D and 3D geometries", *Journal of Hazardous Materials* nr 34 1993 s 173 - 197.
- [183] JC Leyer, D Desbordes, J P Saint-Cloud, A Lannoy, "Unconfined deflagrative explosion without turbulence: Experiment and model", *Journal of Hazardous Materials* nr 34 1993 s 123 - 150.
- [184] M van Aerde, A Stewart, F Saccomanno, "Estimating the impact of LPG spills during transportation accidents", *Journal of Hazardous Materials* nr 20 1988 s 375 - 392.

- [185] G A Chamberlain, "Development in design , Chemical engineering research and design", vol 65 no 4 s 299 - 309 1987.
- [186] N Tanaka, Y Wada, M Tamura, T Yoshida, "Performance of pressure vessel test concerned with heating rate of pressure vessel and bursting pressure of rupture disk", Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 89 - 107.
- [187] F. P Lees, "Loss prevention in the process industries vol 1 och vol 2", Butterworths 1989.
- [188] K Moodie, "Missile effects resulting from a sudden loss of containment," European seminar on the pressurised storage of flammable liquids 24 - 26/10, IBC 1988.
- [189] R. J. Stephan, "Fire department response to hazardous materials incidents", Journal of Hazardous Materials nr 36 1994 s 183 - 185.
- [190] "A deadly reminder", NFPA Journal juli/aug 1994.
- [191] W. C. Warren, "Propane problems addressed through training", Fire engineering aug.1985.
- [192] Hazard workshop modules, "Safe handling of LPG, pressurised bulk storage and road and rail loading", The Institution of Chemical Engineers.
- [193] J A Davenport, "Hazards and protection of pressure storage and transport of LP-gas, Journal of Hazardous Materials nr 20 1988 s 3 - 19.
- [194] J. C. Epperson, "Preparing for cylinder emergencies", Industrial fire safety nov/dec 1992.
- [195] S. Johansson, "Läckande brandfarlig gas: Kan bli farligt och svårbedömt", Brand och Räddning nr 1 1993.
- [196] TRB 801 nr 25 "Technische Regeln Druckbehälter".
- [197] Riskhantering 3: "Teknisk säkerhetsgranskning", Kemikontoret, Stockholm 1987.
- [198] J-O Andersson, P. Wulff, "Hot och motåtgärder vid kemikalieolyckor", FOA-rapport E 40042-4.5, okt 1989.



GASOL: Propan C₃H₈ och Butan C₄H₁₀
(Blandgasol, Propan-butanblandning)

Skyddsutrustning:	Branddräkt Tryckluftapparat
Personal vid läckageplatsen:	Branddräkt med stänkskydd Tryckluftapparat
Största risk:	Brand Explosion
Första åtgärd:	Undanröj tändanledningar Utrym riskzonen Valla in
Brandfara:	Mycket stor
Explosionsfara:	Mycket stor
Hälsofara:	Liten
Miljöfara:	liten

Vissa viktiga data:

Utseende: Färglös gas
Lukt: Illaluktande
Smältpunkt: < -138 °C
Kokpunkt: -20 °C
Densitet: 508 kg/m³
Viskositet: 0,25 cSt
Brännbarhetsområde:
2 - 10 vol%
Flampunkt: -108 °C
Termisk tändpunkt: >450 °C
Löslighet: Svårlöslig i vatten.

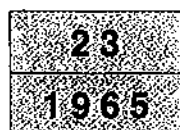
Flyktighet: Mycket lättflyktig
Ångtryck: 500 kPa (20 °C)
Kritisk temperatur: 90 - 150 °C
Mättnadskoncentration:
100 vol%
Densitetstal: 1,6 (luft: 1,0)
Hygieniskt gränsvärde:
1000 ppm (MAK)
Förnimbarhetsgräns:
4 000 ppm
Korttidsinverkan: 10 000 ppm
under 10 minuter är sövande.

MÄRKNING:

ADR/RID

IMDG

UN-nummer



Klass: 2



Klass: 2.1



1965

AKUT SKADEVERKAN

Gasol kan vara farligt vid inandning. Gasen verkar i hög koncentration bedövande samt kan orsaka kvävning i dåligt ventilerade utrymmen genom att tränga undan luftens syre. Flytande gasol kan ge köldskador.

Symtom

Inandning — Yrsel, huvudvärk, illamående, slöhet. Vid höga halter risk för andnöd, medvetslöshet.
Hudkontakt — Ev köldskada.
Ögonstänk — Ev köldskada.
Förtäring — Osannolik.

Första hjälpen

Inandning — Frisk luft. Vid medvetslöshet: framstupa sidoläge, oxygen. Ev andningshjälp. Ev till sjukhus.
Hudkontakt — Tag av förorenade kläder. Till läkare vid köldskada.
Ögonstänk — Ev till läkare.
Förtäring —

Information till läkare

Vid ofullständig förbränning risk för kolmonoxidförgiftning (kort nr 106).

BRAND- OCH EXPLOSIONSFARA

Gasol är ett mycket brandfarligt och explosionsfarligt ämne. Gaserna är tyngre än luft och kan spridas efter marken och till lågt liggande utrymmen. Gaserna ger med luft snabbt explosiva blandningar, vilka kan antändas mycket lätt. En antändning av ett helt fritt gasmoln liknar till stor del en vätskebrand. Observera dock att så fort gasmolnet blir inneslutet eller det finns obstruktioner i form av rörledningar etc så ökar förbränningshastigheten oerhört. En antändning kan leda till en mycket kraftig gasmoinsexplosion. Direkt flampåverkan av cistern eller flaska utan säkerhetsventil innebär stor risk för BLEVE.

Brandsläckning

Släck inte branden förrän utflödet har stoppats. Stor risk finns annars för återantändning eller explosion. Låt om möjligt gasen brinna ut under kontroll och kylning av behållare och omgivning. Om nödvändigt släck bränder med pulver. Små bränder kan släckas med pulver eller ev koldioxid. Använd spridda vattenstrålar för att ge strålningskydd åt insatspersonal. Förhindra att vatten kommer i kontakt med läckande cistern eller med gasol i vätskeform. Arbeta från skyddade platser vid risk för BLEVE.

Åtgärder

Utrym riskzonen. OBS risken för BLEVE. Kyl upphettade behållare med vatten. Om cisternen är försedd med fast kylsystem, undvik uttag av vatten från vattenledningsnätet. Då kan trycket sjunka vilket försämrar det fasta systemets effektivitet.

För cistern utan fast kylsystem är det primärt den del av cisternytan som befinner sig ovanför vätskefasen som behöver kylas.

Om en cistern eller flaska är utsatt för en jetflamma från utläckande gasol, kan mycket kraftig kylning behövas lokalt på den yta där flaman träffar. Detta kan t ex erhållas från brinnande gas som strömmar ut ur en säkerhetsventil och träffar cisternen. För undan svala, brandhotade behållare.

Speciella egenskaper och risker

På den svenska marknaden saluförs gasol även som Propan 95 (kort nr 471) vilken innehåller 95% propan. Gasol (blandgasol) innehåller 30% propan och 70% butan. Gasol är i sig luktlös. För att varna vid utflöde är ofta ett luktämne tillsatt. Lukt och förnimbarhetsgräns anges för gasol som har denna tillsats. Gasol hanteras i tryckbehållare. Vid ca 65 °C utlöses ev säkerhetsventil. Ämnet reagerar häftigt med starka oxidationsmedel.

UTFLÖDE

Vid gasutströmning sjunker trycket i behållaren. Vid vätskeutströmning töms behållaren till läckagets nivå. Gasol flyter på vatten under kraftig gasutveckling och isbildning. Gasol avdunstar från vatten med en halveringstid på 2 timmar till 3 dagar. Vid utflöde kan vätskepölar bildas och stora gasmoln sprids efter marken. Material som kommer i kontakt med vätskeformig gasol kyls ned kraftigt, varvid gasolgas avgår. Efter viss tid minskar gasavgången.

Miljörisker

Ämnets höga flyktighet medför liten akut miljöpåverkan. Däremot finns risk för långsiktiga skador genom bl a ozonbildning. I atmosfären beräknas gasol brytas ned med halveringstid på 0,3—13 dagar.

Åtgärder

Undanröj tändanledningar. Utrym riskzonen. Valla in och täta brunnar, kulvertar etc. Vänd cisternen om det läcker vätska. Täta eller stäng av läckaget. Täta är svårt så länge trycket är högt. Kontrollera explosionsrisken. Avspärra riskzonen. Spruta inte vatten på läckande behållare och förhindra att vatten kommer i kontakt med utrunnen vätska. Täck vätskepölar med plast eller ev med mellanskum. Ventilera drabbade ledningar och — särskilt lågt liggande — utrymmen. Gasol avdunstar självt efter kort tid.

För tillfällig tätning och överpumpning kan alla förekommande material användas. Beakta att starkt nedkylt material kan bli skört.

Kontrollista för avsyning eller tillsyn

- Är den allmänna ordningen tillfredsställande?
- Är skydds- och säkerhetsavstånden uppfyllda?
- Är lossningsplatsen utformad så att tankbilen lätt kan köra därifrån, t ex utan att backa?
- Är lossningsplatsen tillfredsställande avskild från annan verksamhet?
- Står cisternen på jämnt, bärande och obrännbart underlag?
- Är cisternens mantelyta och ledningar inspekterbara runt om?
- Är anläggningen skyddad mot påkörning?
- Är anläggningen skyddad mot fallande föremål?
- Finns anslutning för potentialförbindning från tankbilen?
- Finns inhägnader?
- Är dörrar låsbara?
- Är ventiler skyddade mot obehörigt öppnande?

Anm. Minst två meter hög inhägnad minst två meter från de inhägnade anläggningsdelarna är tillräckligt. Ventiler som är åtkomliga skall vara låsta, blindflänsade el dyl. (SIND-FS 1981:2 kap 5, SÅIFS 1989:12, SÅIFS 1990:2)

- Är ventilationen av cisternrum tillfredsställande?
Anm. (SIND-FS 1981:2 5.18)

- Är gasolcisternen och besiktningspliktiga rörledningar godkända av AB Svensk Anläggningsprovning (SA) vid installationsbesiktning eller återkommande besiktning?
- Är godkännandet fortfarande giltigt?

10 Anm. SA-kontrollen och dess omfattning framgår av arbetarskyddsstyrelsens tryckkärleksföreskrifter (AFS 1997:15)

- Har rörledningar och slangar betryggande säkerhet mot yttre påverkan och inre övertryck?
- Är rörledningar och slangar av brandhärdigt material?

10 Anm. Ledningar som inte kontrolleras av SA skall också kunna visas vara täta genom dokumenterad egenkontroll. (AFS 1997:15, SIND-FS 1981:2; kap 7)

- Mynnar säkerhetsventiler utomhus och på lämplig plats?
Anm. Utsläppt gas får t ex inte komma in genom ventilationssystemet.

- Är klassningsplanerna aktuella?
- Uppfyller elinstallationerna gällande starkströmsföreskrifter inkl. klassningsplanen?
- Är kontrollen gjord av person med tillräcklig kompetens?

Anm. Klassningsplanen görs i regel efter svensk standard SS 421 08 20. Egenkontrollen skall vara dokumenterad i protokoll el dyl. (SIND-FS 1983:2, STEV-FS 1988:1)

- Finns varningsskyltar och förbudsskyltar enligt föreskrifterna?
Anm. Skyltarna är skylt nr 10 och skylt nr 14 enl SS 3611. (SÅIFS 1989:6)



10



14

- Är ledningar märkta enligt föreskrifterna?
Anm. Märkningen skall följa SS 741: orange svep med riktningspil och texten GASOL vid ställen där förväxlingsrisk råder. (SÅIFS 1989:6)
- Är alla skyltar och märkningar på anläggningen som avser drift och underhåll på svenska?
- Finns instruktioner för drift och underhåll och är de på svenska?
- Har alla manometrar samma SI-enhet på huvudskalan?
Anm. (SFS 1991:677; 8 §)
- Finns skriftliga rutiner för egenkontroll av hela systemet vad avser kondition och täthet?
- Finns beredskapsplan med åtgärder vid olyckor?
- Finns skriftliga rutiner för rapportering och dokumentering av tillbud och olyckor?
- Finns skriftliga rutiner för erfarenhetsåterföring inom företaget av tillbud och olyckor?
Anm. (SÅIFS 1989:2)
- Finns föreståndare (med ev ställföreträdare)?
- Har båda tillräcklig kompetens i form av kunskaper och erfarenhet?
- Har båda tillräckliga befogenheter för att kunna fullgöra sitt ansvar?
- Är deras namn, adress och tfn-nummer kända för räddningstjänsten?
- Anm. Syftet med föreståndarskapet är att förebygga olyckor. Sålunda skall föreståndaren vara tekniskt väl förtrogen med gasolanläggningen. Exempel på vilken nivå inom företaget som föreståndare bör utses är driftingenjör i det företag som nyttjar den brandfarliga varan. (SFS 1988:1145; 36, 37 §§)*
- Är personalen kompetent (utbildad)?
Anm. (SFS 1988:868 8 §)

SP
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 033 - 16 50 00, Telefax: 033 - 13 55 02

SP RAPPORT 1994:57
ISBN 91-7848-516-9
ISSN 0284-5172