

Bättre gasolanläggningar med hjälp av erfarenhets- återföring och tillförlitlighetsteknik

Naturgas

FUD


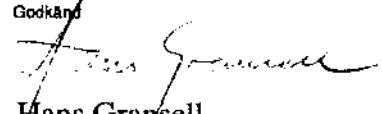
FORSKNING · UTVECKLING · DEMONSTRATION

Vattenfall

Bättre gasolanläggningar med hjälp av erfarenhets- återföring och tillförlitlighetsteknik

Naturgas



Från UG	Löpnummer U(G) 1991/60	Datum 1991-09-16	Kl.nr U160/90
Författare Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB		Teknikområde Naturgas	
Rapport kan lånas från Vattenfall Biblioteket 162 87 VÄLLINGBY		Rapporter kan rekvireras från Vattenfall Utveckling AB Dokumentationscentralen 810 71 ÄLVKARLEBY	Projektnummer 93757 53999
Vid utgåvare  Nils-Eric Carlstedt		Godkänd  Hans Gransell	
Sökord Gasol, LPG, Erfarenhetsåterföring, Tillförlitlighetsteknik			Antal textblad
<input checked="" type="checkbox"/> Only summary in English <input type="checkbox"/> Whole report in English <input type="checkbox"/> It exists a brochure in Swedish/English <input type="checkbox"/> Other			Antal bilageblad

Rubrik

Bättre gasolanläggningar med hjälp av erfarenhetsåterföring och tillförlitlighetsteknik

Sammanfattning

I rapporten sammanfattas grundläggande fakta om gasols egenskaper, lagring, användning samt lagar och regler som gäller för gasol. Den principiella uppbyggnaden av en större anläggning beskrivs liksom de åtgärder man bör vidta i förebyggande syfte och vid läckage eller brand i en gasolanläggning.

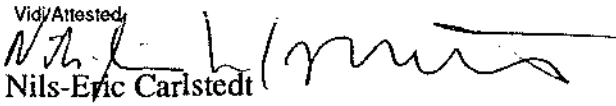
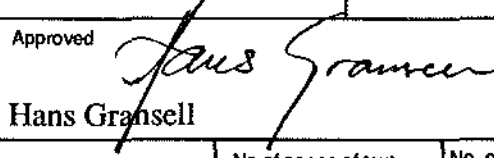
De flesta gasololyckor som inträffat har orsakats av bristfällig utrustning eller den mänskliga faktorn. En ökande användning av gasol i stor skala har ökat behovet av att erfarenheter från fel, tillbud och olyckor dokumenteras, analyseras och återförs till utrustningstillverkare, gasol-användare m fl på sådant sätt att säkerheten ökas och tekniken förbättras i gasolanläggningar. En förutsättning för detta är att händelser som kan ge viktig information rapporteras. Bestämmelserna för större gasolanläggningar bör därför skärpas så att man i likhet med vad som gäller för naturgas-installationer blir skyldig att på särskild blankett rapportera inträffade händelser. Särskilda blanketter och anvisningar för gasolanläggningar bör tas fram så att ingen viktig information utelämnas vid rapportering. Gasol- och naturgasinstallationer har stora likheter varför bearbetnings- och presentationsmetoder för naturgasanläggningar med smärre modifieringar borde kunna användas även för gasolanläggningar. För att erfarenheter effektivt ska kunna tillvaratas bör informationen insamlas, bearbetas och resultatet presenteras centralt, förslagsvis av Svenska Gasföreningen som är gasbranschens organisation.

Tillförlitlighetsteknik är en ingenjörsvetenskap som kan vara till nytta vid analys av inträffade händelser i tekniska system som t ex gasolanläggningar. I rapporten presenteras grundläggande tillförlitlighetstekniska begrepp och metoder. Speciell vikt läggs vid sk händelsetråd som är en lämplig metod för analys av systems funktion och tillförlitlighet. Metoden demonstreras med ett verkligt olyckstillbud som exempel.

Två incidenter i gasoleldade panncentraler beskrivs och analyseras för att försöka klarlägga vad som inträffat, samt vilka erfarenheter dessa två händelser givit.

Den ena händelsen inträffade i Tärendö i Pajala kommun. Anläggningen består av en markförlagd 100 m³ gasolcistern utrustning för tryckhöjning och förångning samt två 450 kW pannor. Gasol-läckage inträffade vid en avstängningsventil på gasolcisternen. Läckaget berodde på att ledningen från cisternen påverkats av marksättningar. Man hade kunnat stoppa läckaget snabbt om man känt till att rörbrottsventilen kan fås att stänga genom att skapa stort flöde under kort tid. Det kan åstadkommas genom att man avsiktligt snabbt släpper ut en förhållandevis liten gasolmängd.

Den andra händelsen inträffade i en panncentral i Tierp. Anläggningen har en gasolcistern på 200 m³ och en total panneffekt på 6 MW. Ett fel i förångarsystemet resulterade i att gasol i vätskefas strömmade ut i gasfasledningen och vidare till pannorna. Felet orsakades av en trasig reglerventil. Systemets säkerhetsfunktioner som automatiskt skulle stänga av gasoltillförseln fungerade inte. Den tillförlitlighetstekniska metod som beskrivs i rapporten tillämpas på ett förångarsystem liknande det i den aktuella panncentralen. Resultatet blir uttryckt som ger övre och undre gränser för systemets funktionssannolikhet. Med normala funktionssannolikheter för komponenter som används i gasolsammanhang erhåller man en mycket hög funktionssannolikhet för systemet. En slutsats av detta är att de säkerhetsfunktioner som skulle ha funnits inte fanns eller var frånkopplade vid det tillfälle felet inträffade.

From UG	Serial number U(G) 1991/60	Date 1991-09-16	Cl.No. U160/90
Author Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB		Main area/Program area/Project area Natural Gas	
Reports can be borrowed from Vattenfall Biblioteket 162 87 VÄLLINGBY		Can be obtained from Vattenfall Utveckling AB Dokumentationscentralen 810 71 ÄLVKARLEBY	Project No. 93757 53999
Vid/Attested  Nils-Eric Carlstedt		Approved  Hans Gransell	
Search term LPG, Reliability		No of pages of text	No. of pages of appendix
<input type="checkbox"/> Only summary in English	<input type="checkbox"/> Whole report in English	<input type="checkbox"/> It exists a brochure in Swedish/English	<input type="checkbox"/> Other

Titel

Improvement of LPG-installations by experience feed-back and reliability methods

Summary

Basic facts on storage, usage and properties of LPG are summarized in this report. Swedish regulations pertaining to LPG-installations are briefly discussed. The basic design and main components of an industrial LPG- installation are described as well as suitable action in case of leakage or fire.

Most accidents in LPG-installations are caused by defective equipment or human mistakes. An increased use of LPG in large scale installations calls for systematic reporting, analysis and feed-back of near-accidents and accidents in LPG installations. The goal of this is to improve safety and technology. A prerequisite is that events which can provide important information are reported. To ensure this it's believed that the legislation pertaining to LPG installations should require reporting of accidents and near-accidents as is the case for natural gas installations. Appropriate forms and instructions are needed to ensure that all important information is included in a report. The best results will probably be achieved if one organization gathers, analyze and present information on reported events.

The reliability engineering "event tree" technique is described and demonstrated as a method which can be used to analyze function and reliability of technical systems like LPG-installations.

Two occurrences of failures or near-accidents in LPG fueled boiler installations are described in order to try to find out what happened and what experiences that can be learnt.

The first failure happened in Tärendö in Pajala county. The tank contains 100 m³ LPG and the two boilers each have an output of 450 kW. Movements of the ground in which the tank is buried caused displacement of pipes and a leak at a tank valve. The leakage lasted for quite some time until the LPG could be transferred to a truck. The pipe failure valve which is located inside the tank and designed to close if a pipe ruptures could have been closed deliberately by creating a large flow e.g. by quickly opening a valve to the surrounding atmosphere. The amount of LPG that is dumped this way is comparatively small.

The second failure happened in a district heating boiler plant in Tierp. The LPG-tank contains 200 m³ and the total boiler capacity is 6 MW. A broken valve in the evaporation system caused LPG in the liquid phase to flow into the boilers. According to drawings the system had a number of safety functions which automatically should have closed the LPG supply to prevent what happened. The "event tree" method is used to analyze an evaporation system similar to the one that failed. Using reliabilities normal to components in an LPG-system very high reliability of the system is obtained. An explanation of the failure is that the planned safety systems never were implemented or that they were disconnected at the time of the failure.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Kapitel	Sida
1. Inledning	3
2 Basfakta om gasol	3
2.1 Allmänt	3
2.2 Egenskaper	4
2.3 Lagring	4
3 Regelsystem	6
3.1 Allmänt	6
3.2 Lagar, förordningar och föreskrifter	6
3.3 Normer, standarder och rekommendationer	7
4 Kontroll, godkännande och provning	8
5 Uppbyggnad av gasolanläggning	8
5.1 Cistern	8
5.2 Tryckhöjningspump	10
5.3 Rörledningar	10
5.4 Förångare	10
5.5 Förbrukningsapparater	11
6 Risker med gasolen	12
7 Åtgärder vid olycka	12
7.1 Förebyggande åtgärder	12
7.2 Åtgärder vid läckage eller brand	13
8 Två tillbud i gasolanläggningar	14
8.1 Gasolläckage i Pajala	14
8.1.1 Händelseförlopp	14
8.1.2 Erfarenheter och vidtagna åtgärder	15
8.1.3 Läckage i flänsförband på cistern	15
8.2 Gasolvätskegenomslag i Tierp	16
8.2.1 Händelseförlopp	16

8.2.2 Förloppet i reduceringsventilerna	17
8.2.3 Förångarsystemets funktion	19
8.2.4 Orsak till förångfel	19
8.2.5 Åtgärder	20
8.2.6 Tänkbara konstruktionsförbättringar	20
9 Tillförlitlighetsteknik	21
9.1 Allmänt	21
9.2 Grundläggande begrepp	21
9.3 Konstruktionsfilosofier	22
9.4 Händelseträd	22
9.4.1 Funktionsbeskrivning med händelseträd	22
9.4.2 Konstruktionsregler för händelseträd	23
9.4.3 Exempel på händelseträd	24
9.4.4 Hantering av komplicerade händelseträd	26
9.4.5 Händelseträd och strukturfunktioner	27
9.4.6 Gränser för funktionssannolikhet	29
9.5 Exponentialfördelningen	30
9.6 Felsätt för komponenter och system	31
10 Erfarenhetsåterföring	33
10.1 Allmänt	33
10.2 Rapportering av händelser i gasolanläggningar	34
11 Resultat och rekommendationer	34
Referenser	36

1 Inledning

Intresset för gasol har ökat på senare år. Orsakerna är främst att gasolen blivit billigare jämfört med konkurrerande energislag och möjligheten att i framtiden använda naturgas istället för gasol utan större förändringar i utrustningen. Gasolanvändning ställer speciella krav beträffande kunskap, teknik, olycksberedskap och kontroll av anläggningar. Speciellt gäller detta för stora gasolanläggningar där det är viktigt med hög tillgänglighet och där haverier kan leda till svåra olyckor. Säkerhet och teknik i gasolanläggningar kan förbättras genom systematisk analys av inträffade tillbud och haverier. För att göra sådan erfarenhetsåterföring möjlig måste information insamlas, bearbetas och presenteras. Händelserapporteringen bör ske på ett standardiserat och systematiskt sätt för att vara till mesta nytta. I rapporten beskrivs två verkliga fall av fel i gasolanläggningar. Genom försök att klarlägga och analysera vad som orsakat felen ges förslag på förbättringar. Tillförlitlighetsteknik presenteras som ett verktyg för att ur olika händelserapporter få fram information som leder till funktionssäkrare gasolanläggningar. Utformningen av ett system för erfarenhetsåterföring diskuteras i allmänna termer.

2 Basfakta om gasol

2.1 Allmänt

Gasol är i Sverige den allmänna benämningen på en blandning av lättflyktiga kolväten som huvudsakligen består av propan C_3H_8 , propen C_3H_6 , butan C_4H_{10} och buten C_4H_8 . En annan benämning är kondenserad petroleumgas. Det internationella namnet på gasol är Liquefied Petroleum Gas, LPG. Vid rumstemperatur och atmosfärstryck är gasol gasformig. Vid måttlig kompression eller kylning övergår gasol till vätska. Utvinning sker direkt i samband med olje och naturgasproduktion men också vid raffinering av råolja. Utbudet förväntas i framtiden öka till följd av ökad naturgasanvändning och större utbyte vid raffinering. Priset på gasol kommer därför troligen att vara lågt även i fortsättningen. De största gasolanvändarna är industrier och värmeverk. Inom industrin dominerar järn och stålindustrin gasolanvändningen. Det är främst inom uppvärmningssektorn som intresset för gasol har ökat på senare tid.

2.2 Egenskaper

Gasol för användning i industrianläggningar består vanligen av blandningar av propan och butan. Vätskefasen är färglös och har en densitet på omkring 500 kg/m^3 . Ren gasol saknar lukt men för att läckage ska kunna upptäckas tillsätts ett karakteristiskt luktämne. Kokpunkten som är definierad som förångningstemperaturen vid atmosfärstryck (760 mm Hg) är mellan -20 och $-42 \text{ }^\circ\text{C}$ beroende på sammansättning.

Vätskefasens sammansättning kommer att ändras vid självförångning av blandgasol. Det beror på att komponenterna har olika förångningstemperatur. T.ex avger en vätska bestående av 50% Propan och 50% N-butan en ånga med ca. 81% Propan och 19% N-butan, räknat i viktsprocent. Blandningen i tanken kommer därför vid självförångning så småningom att få ändrad sammansättning och därmed ändrat (lägre) ångtryck vid oförändrad temperatur. Gassammansättningen blir oförändrad om gasolen förs i vätskeform till en förångare och där förångas helt genom värmeförsel. Då gasol förångas tas det erforderliga värmets i första hand från gasolvätskan och omgivningen där denna förvaras. Temperaturen på kärl och vätska kan under vissa omständigheter bli så låg att självförångningen avstannar.

Då 1 volymenhet gasol förångas bildas ca. 200-250 volymenheter gas. Gasolgasen är tyngre än luft och lägger sig därför utmed marken vid läckage. Gasol-luftblandningar kan vara mycket explosiva. Gasformig gasol bildar med luft brännbara gasblandningar om gasolhalten är mellan ca. 2-10 volymprocent. Antändningstemperaturen är strax över $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Gasol är inte giftig men inandning av atmosfär med hög gasolhalt ger upphov till syrebrist.

2.3 Lagring

Gasol förvaras och transporteras som vätska i tryckkärl. Gasolvätskans volymutvidgnings- koefficient är ca. 100 ggr. större än för stål. En cistern får därför inte fyllas helt utan en viss expansionsvolym måste finnas. Ju lägre temperaturen är vid fyllnings-tillfället och ju mindre cisternen är desto större expansionsutrymme krävs.

I tryckkärlet befinner sig vätske och gasfas i jämvikt. Sambandet mellan tryck och temperatur ges av ångtryckskurvan för aktuell gasolblandning. Se fig 1.

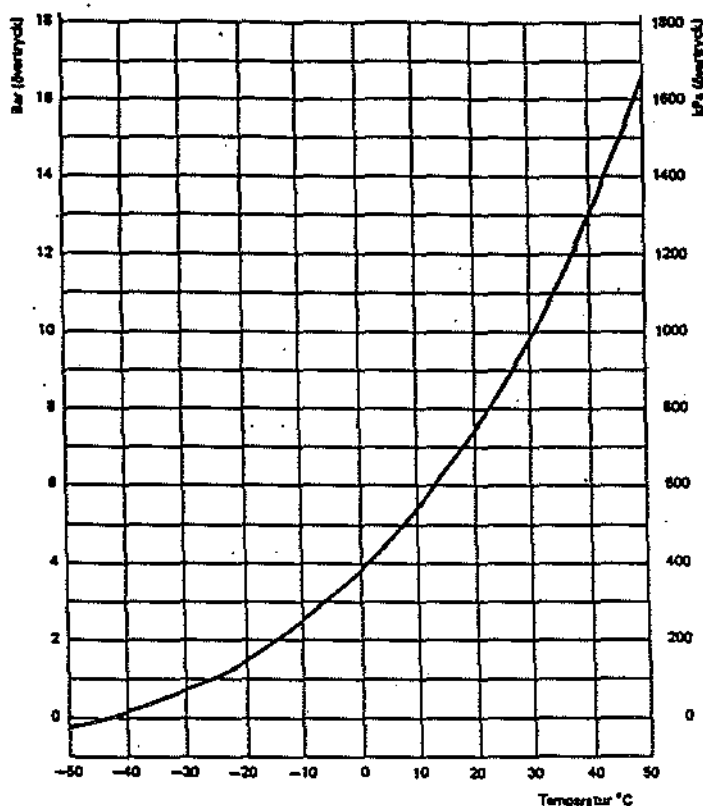


Fig.1. Ångtryckskurva för gasol.

Leveranser av gasol sker i regel med tankbil för cisterner upp till 15 ton eller där järnvägsspår inte finns fram till användaren. Större mängder transporteras på järnväg. Vagnar finns i storlekar upp till 45 ton.

Lagring av mycket stora gasolmängder sker i bergrum. Kyla gasolen till en temperatur som underskrider kokpunkten kan lagring ske vid atmosfärstryck. Vid lagring under övertryck kan trycket hållas uppe genom att vatten pumpas in i det omgivande berget.

3 Regelsystem

3.1 Allmänt

Lagar och förordningar är allmänt skrivna. Regeringen ger därför i uppdrag åt myndigheter att utarbeta detaljerade regler. Dessa regler är av två slag och kallas föreskrifter resp. allmänna råd. Föreskrifter är bindande dvs. de skall följas. Allmänna råd däremot är inte bindande utan anger hur man kan förfara för att uppfylla kraven i författningarna.

Normer och standarder utges av olika organisationer. I de normer och standarder som används för konstruktion av gasolanläggningar ges detaljerade anvisningar som överensstämmer med reglerna i författningarna.

För anläggningar med större mängder gasol krävs individuell bedömning och tillståndsgivning i varje enskilt fall. Byggnadsnämnden beslutar om tillstånd efter yttrande från bl.a. Sprängämnesinspektionen, kommunens räddningsnämnd och kommunens miljö och hälsoskyddsnämnd.

3.2 Lagar, förordningar och föreskrifter

Nedan ges en sammanfattning av de författningar som reglerar hantering och användning av gasol. Varje år ges av Sprängämnesinspektionen ut en förteckning som bl.a. omfattar vilka föreskrifter och allmänna råd som gäller för gasol och andra brandfarliga varor. Författningarna kan beställas från t.ex. Liber distribution. Skyddsavstånd och säkerhetsavstånd är viktiga begrepp som förklaras nedan.

Skyddsavstånd är avståndet mellan gasollagringsplatsen och bebyggelse. Skyddsavståndet ökar med cisternens storlek. Flera mindre cisterner möjliggör mindre skyddsavstånd.

Säkerhetsavstånd är det inbördes avståndet mellan behållare och avståndet mellan behållare och tappställe.

Gasol är en brandfarlig vara och regleras av Lagen om explosiva och brandfarliga varor SFS 1988:868. En av de till lagen hörande förordningarna, Förordningen om brandfarliga varor, SFS 1961:568, innehåller allmänna regler om tillverkning, handel, hantering, förvärv, överlåtelse, transport mm. för brandfarliga varor. Sprängämnesinspektionen har ålagts utfärda tillämpningsföreskrifter till förordningen. Inspektionen är också remissinstans i tillståndsfrågor.

Arbetsmiljölagen, SFS 1977:1160, och tillhörande förordning, arbetsmiljöförordningen SFS 1977:1166, reglerar säkerheten för de anställda på arbetsplatsen. Efterlevnaden kontrolleras av Yrkesinspektionen under överinseende av Arbetarskyddsstyrelsen. Arbetarskyddsstyrelsen har också ansvaret för de föreskrifter och normer som bestämmer hur cisterner och rörledningar ska utföras. Dessa bestämmelser finns i Cisternnormerna III, VI samt Rörledningsnormerna utgivna av Ingenjörsvetenskapsakademiens tryckkärlskommission.

Lagen om transport av farligt gods, SFS 1981:821, och tillhörande förordning, Förordningen om transport av farligt gods, 1982:923, innehåller regler för transport av farligt gods. Föreskrifter utfärdas av Statens räddningsverk, Sprängämnesinspektionen och Sjöfartsverket.

Räddningstjänst, olycks och skadeförebyggande åtgärder regleras i räddningstjänstlagen SFS 1978:1102.

Markutnyttjande och byggande regleras i plan och bygglagen.

3.3 Normer, standarder och rekommendationer

Anvisningar för beräkning och konstruktion av lagringscisterner och rörledningar finns i Cisternnormerna III, VI samt Rörledningsnormerna utgivna av Ingenjörsvetenskapsakademiens tryckkärlskommission.

Branschorganisationen för gasintressenter, Svenska Gasföreningen (SGF) har utgivit rekommendationer i "Anvisningar för mindre gasolanläggningar", Gasföreningen kommer under 1991 att ge ut "Anvisningar för större gasolanläggningar".

För de delar av gasolinstallationen där trycket inte överstiger 4 bar bör Svenska Gasföreningens norm för naturgasinstallationer, NGDN, följas.

För bostadsuppvärmning med gasol har SGF utgivit: anvisningar för utförande av panninstallation för bostadsuppvärmning med gasol.

För klassning av explosionsfarliga områden finns anvisningar i svensk standard SS 4210820.

Anvisningar för elinstallationer i riskområde med explosiv gasblandning finns i SS 4210821.

En sammanfattning för reglerna för industriella gasolanläggningar finns i Industrins gasolanläggningar,

som är en rekommendation utgiven av Svenska Brandförsvarsförbundet.

För planering av förvaring och hantering av gasol i värmeverk finns Värmeverksförbundet "Tillståndsfrågor vid införande av gasol-LPG vid värmeverk".

4 Kontroll, godkännande och provning

Två former av godkännande förekommer. Typgodkännande och systemgodkännande. Typgodkännande tillämpas för brännare etc. som tillverkas i serie om effekten ligger inom nedan angivna gränser.

- atmosfärsbrännare \leq 120 kW
- fläktbrännare \leq 350 kW

För större apparater tillämpas systemgodkännande vilket innebär anläggningsspecifikt godkännande. Gasolbrännare och apparater godkänns av Statens Provningsanstalt eller Svenska Gasförbundet. Godkännandet omfattar all armatur tom. huvudavstängningsventilen. Innan en gasolanläggning får tas i drift ska tryckkärl och ledningsnät provas av Statens Anläggningsprovning.

5 Uppbyggnad av gasolanläggningar

5.1 Cistern

Standardcisterner för lagring under övertryck finns i storlekar mellan 3-130 ton. Det är ingen ökad risk för sprödbrott eftersom temperaturen i materialet är lika med omgivningstemperaturen. Gasolcisterner kan därför tillverkas i vanligt tryckkärlsstål, SIS 1330, 1430, 1432, 2101, 2103 eller likvärdiga. Beräkningstrycket är vanligen 16 bar ö. Placering av cistern kan ske både ovan och under jord. Fig. 2 visar en principskiss av en större gasolanläggning.

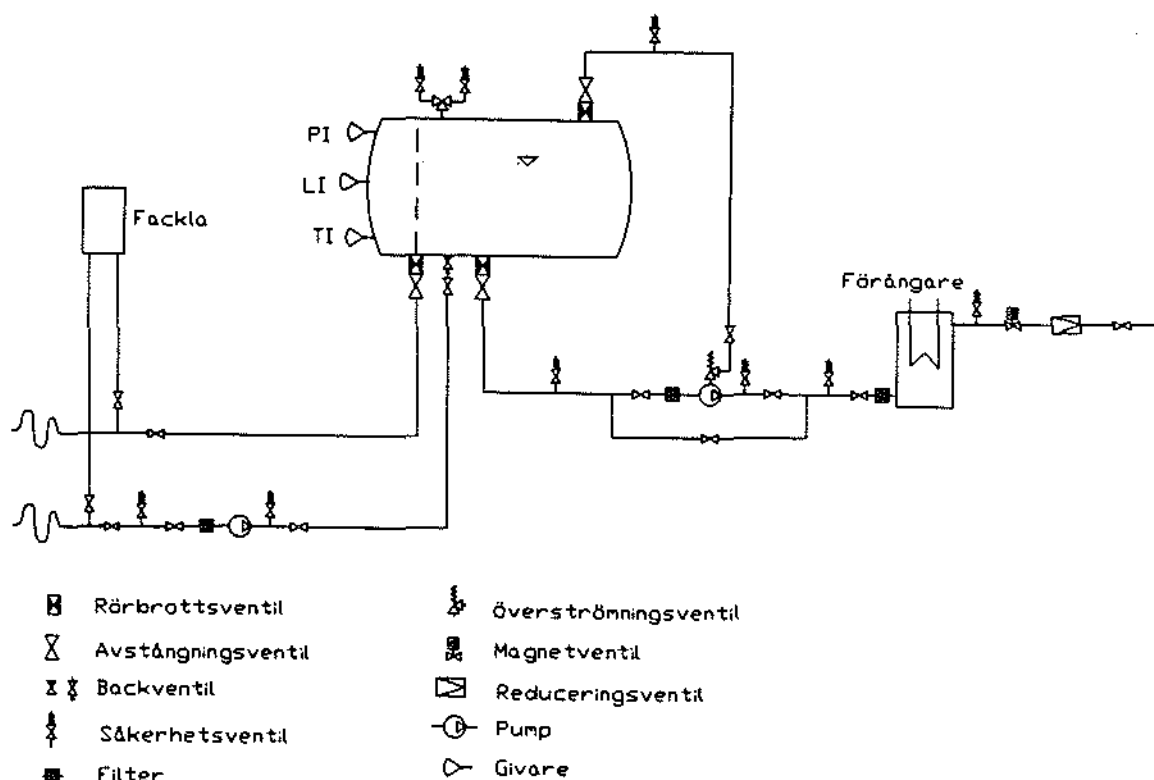


Fig. 2 Principskiss av en större gasolanläggning.

Samtliga ledningar anslutna till cisternen ska vara försedda med avstängningsventil i stål eller stål-gjutgods. Avstängningsventilen ska anbringas så nära cisternen som möjligt. Fyllningsledningen ska vara försedd med en backventil anbringad innanför cisternväggen. Tömningsledningen ska vara försedd med maximalflödesventil (rörbrottsventil). Vid normalt flöde är tryckskillnaden mellan ventilens inlopp och utlopp liten. Då hålls rörbrottsventilen öppen av en fjäder. Skulle en större läcka uppstå ökar tryckdifferensen varvid fjäderkraften övervinns av tryckkrafterna och ventilen stänger. Säkerhetsventil med oavstängbar förbindelse med cisternens gasrum ska finnas.

Trycket i gasrummet ska kunna mätas med manometer monterad på cisternen. Temperatur och nivåmätare ska också finnas. Underjordisk cistern behöver dock ingen temperaturmätare.

5.2 Tryckhöjningspump

Gasolen lämnar cisternen i vätskefas genom ett bottenuttag eller ett dykrör. Den ska transporteras till förångaren som ofta är placerad nära förbrukningsstället långt från cisternen. Tryckhöjningspump behöver inte användas då temperaturen på gasolen i cisternen motsvarar ett ångtryck som räcker för att driva gasolvätskeflödet. Då trycket i tanken är otillräckligt ska tryckhöjningspumpen ge erforderligt trycktillskott för att få tillräckligt flöde till förångaren. Tryckfallet i pumpens sugledning måste vara lågt. Annars kan trycket i sugledningen bli lägre än ångtrycket vid rådande temperatur. Gasol börjar då förångas i ledningen. Vätskan kan i så fall inte pumpas.

5.3 Rörledningar

Ledningssystemet kan delas in i ledningar där gasol förekommer i vätskefas och sådana där förångad gasol distribueras. Säkerhetsventil ska finnas på de ledningar där gasol förekommer i vätskefas.

Ledning ska förläggas så att risk för mekaniska skador på ledningen inte föreligger. Kulvertförläggning av rörledningar för gasol bör undvikas. Förgasad gasol kan följa en kulvert till byggnad e. dyl. där antändningsrisk kan finnas. Väljs sådan förläggning ska automatiskt larm eller effektiv ventilation ordnas. Kan farlig brytning eller spänning uppstå skall lyra, bälg, box eller liknande anordnas för uppfångning av farliga rörelser. För att ledningen inte ska skadas av marksättningar kan rörledningen utföras vinklad i vågrät eller lodrät led. Där ledning är särskilt utsatt ska den vara förlagd i skyddsror eller skyddad på annat sätt. Ledning bör förläggas med lutning, dock aldrig med lutning mot reduceringsventil. Rörledning i mark bör utföras av korrosionsbeständigt material enl. SIS 2343 eller korrosionsskyddas. Fogar ska svetsas.

5.4 Förångare

För att gasolen ska kunna användas måste den överföras från vätske till gasfas, förångas, varvid värme behöver tillföras. Förångaren är i princip en värmeväxlare där gasolen direkt t.ex. med el eller indirekt via en värmebärare värms och förångas. Trycket en förångare ska konstrueras för är minst 25 bar med provtryckning till

40 bar. Temperaturen på gasolgasen efter förångaren bör vara 60-80 °C. I gasuttaget från förångaren bör finnas en ventil som stänger när gasens temperatur understiger 40 °C. Förångaren ska i gasfasdelen vara utrustad med en säkerhetsventil vars avblåsningsrör ska mynna i det fria. Det ska finnas utrustning som förhindrar att gasolvätska tränger ut i gasförande ledning sk. vätskespärr. Kontrollanordning för temperatur och nivå ska också finnas.

Efter förångaren reduceras gasens tryck. Gaslednings-systemet och dess komponenter är avsedda för ett tryck av högst 4 bar. För att undvika kondensation i gasrören måste trycket efter reduceringsventilen vara sådant att gasens daggpunkt vid detta tryck är lägre än omgivningens temperatur. Utgående tryck efter reduceringsventilen är vanligen omkring 100 mbar.

5.5 Förbrukningsapparater

Gasvarnare bör finnas i lågpunkter nära gasolapparater. Brännare är de vanligaste förbrukningsapparaterna. Fläktbrännare ska vara försedda med följande utrustning:

1. Gastrycksregulator. Kan utelämnas om kontroll av gastrycket omedelbart före brännaren sker på annat sätt. Före regulatorn ska finnas anslutning för tryckmätning.
2. Gastrycksvakt.
3. Filter före magnetventilen
4. Magnetventil. För brännareffekter över 350 kW krävs 2 magnetventiler.
5. Flödesbegränsare för inställning av maximal gasförbrukning per tidsenhet.
6. Tändanordning.
7. Flamvakt som avbryter gastillförseln om lågan slocknar.
8. Reglerutrustning.
9. Reglerbart luftspjäll.
10. Lufttrycksvakt.
11. Reglerbart gasspjäll
12. Gastrycksmanometer.

6 Risker med gasol

Flertalet gasololyckor har orsakats av att gasol läckt ut från lagringstankar eller gasoltankfordon. Läckagerisken är i regel som störst vid lossning. Gasol som läcker ut förångas och blandas med omgivande luft. Blandningen av gasformig gasol och luft är inom ett visst område brännbar. Blandningen kan explodera med stor våldsamhet. Störst explosionstryck fås vid 4 volymprocent gasol i luften. Gasol-luft blandningar är brännbara då volymsandelen gasol ligger mellan 1.8-10.1 %. Små gasolläckage kan ge upphov till stora mängder brännbar gasblandning. En liter gasolyätska förångas till ca. 250 l gas vilken kan ge ca. 14 m³ brännbar blandning av gasol-luft. Antändningen av gasol-luftblandningen kan ske långt från läckageplatsen. Det beror på att gasolgasen är tyngre än luft och därför kan rinna utefter marken lång väg. Gasol är giftfri men tränger pga. att dess densitet i gasfas är större än luftens undan denna vilket får till följd att syrehalten i inandningsluften blir för låg. Gasol i vätskefas förångas om den läcker ut och dess temperatur blir då ca. -42 °C vilket kan orsaka köldskador på bar hud.

De gasololyckor som inträffat har i flertalet fall orsakats av bristfällig utrustning eller den mänskliga faktorn. Det är alltså av största betydelse att gasolanläggningars utrustning är av god kvalitet och att tillgänglig säkerhetsteknik utnyttjas för att minska risken för mänskliga fel. Speciellt vid gasolanläggningar med många leveranser.

7 Åtgärder vid olycka

7.1 Förebyggande åtgärder

Anläggningsägaren ska tillse att gasolanläggningen uppfyller kraven på säkerhet. Detaljerade anvisningar måste upprättas anläggningsvis på grund av gasolanläggningars skiftande natur. Viktiga handlingar för att förhindra olyckor är felsökningsschema, åtgärdsschema i händelse av utläckande gasol och åtgärdsschema vid brand. Ansvar för att nämnda åtgärdsscheman upprättas åligger den som är gasolansvarig. Handlingar rörande en gasolanläggning ska finnas samlade på ett ställe i en sk. gasolbok.

7.2 Åtgärder vid läckage eller brand

Brand och explosionsrisk kan uppkomma på betydande avstånd från läckageplatsen eftersom gasen breder ut sig i omgivningen och kan tränga in i intilliggande lokaler. Omfattningen av gasutbredningen är svår att avgöra. Automatiska och manuellt utlösbara larm för läckage eller brand bör anordnas. Evakuering och avlägsnande av tändkällor kan behöva ske inom ett stort område. Särskilt i vindriktningen. Utsträckningen av området beror bl.a. på terrängen (lågpunkter, närbelägna byggnader, intilliggande vattendrag) och de meteorologiska förhållandena. Redan då gasolhalten i luften är 1/5 av undre brännbarhetsgränsen känns en tydlig gasollukt som utgör en varningssignal om läckage. Vätske eller gastillförseln till det ställe där läckage uppstått ska då stoppas. Lämplig avstängning är huvudavstängningsventil vid förångare. Vid läckage ska alltid cisternventilen stängas. Tändkällor ska släckas och åtgärder som kan orsaka antändning undvikas.

Läckage och/eller brandlarm ges. Den som larmar ska uppge:

var olyckan inträffat

vad som inträffat

vem som larmar

hur man kommer i kontakt med olycksplatsen

Larma brandkår, egen personal och eventuellt gasol-distributör. Ansvarig på olycksplatsen är den lokale brandchefen. Kan inte gasoltillförseln stängas av ges larm som första åtgärd. Gasoldistributörer har utrustning för att föra över gasol från cistern till tankbil och för avfackling av gasol.

Omfattande läckage kan förhindras genom avfackling eller genom att vatten pumpas in i cisternen om den är förberedd för dessa åtgärder. Vatten kan t.ex. pumpas in genom bottenventil på cisternen. Gasolen som har lägre densitet än vatten lägger sig ovanpå vattnet. Läckaget kommer på så sätt att utgöras av vatten.

Utläckande gasol som brinner ska inte släckas eftersom det då bildas ett gasmoln. Antändning av intilliggande föremål och byggnader ska förhindras. Riskerar gasolcistern att uppvärmas av brand startas sprinkler eller ordas med vattenbegjutning på annat sätt. Allt närmande till cisternen bör ske från sidorna och om möjligt med vinden i ryggen. Ångtrycket hos gasolvätskan stiger mycket kraftigt med temperaturen. Den temperatur över vilken gasol inte kan förekomma i vätskeform hur högt tryck som än råder, kritiska temperaturen, är ca. 120 °C. Säkerhetsventilerna kan inte avlasta

tryckstegringen vid kraftig uppvärmning. Om brandens intensitet och ljudet av utströmmande gasol ökar är avkylningen inte tillräcklig och risk för cisternsprängning kan uppstå. All personal bör då sättas i säkerhet.

Ventilationssystem som ger undertryck i lokalen stoppas. Fönster, dörrar och andra öppningar stängs. Ger ventilationssystemet övertryck i lokalen bör det hållas igång om detta inte medför antändningsrisk och luftintaget är högt beläget.

Innan normal verksamhet upptas måste kvarliggande gas avlägsnas. Gasolgas kan ligga kvar lång tid i lågt belägna utrymmen. Lokaler utvädras tills ingen gasollukt känns eller indikeras. I lokaler med lågt belägna utrymmen som saknar fast installerat golvutsug sker detta lämpligen med ejektor vars utsug placeras lågt. Efter reparation ska besiktningsspliktiga delar av anläggningen kontrolleras av AB Statens Anläggningsprovning innan anläggningen ånyo får tas i drift. Innan gasolvätska släpps på avdrivs luft från rörsystem och förångare med hjälp av kvävgas.

8 Två tillbud i gasolanläggningar

8.1 Gasolläckage i Pajala

8.1.1 Händelseförlopp

Händelsen inträffade i Tärendö, Pajala kommun i augusti 1989. Anläggningen består av markförlagd 100 m³ gasolcistern. I prefabricerat hus placerad utr. för tryckhöjning och förångning samt två st. 450 kW pannor. Styr och reglerautomatiken styr och övervakar anläggningen som manövreras via modem från energiverkets processdator. Anläggningen försör två skolor, tre hyreshus samt en sport och simhall med värme. Driften påbörjades 890201. En gasolläcka inträffade 890813.

Följande hände:

Gaslarm utgick från anläggningen. Jourhavande fastighetsskötare besökte panncentralen men hittade inget fel. Gasolansvarige tillkallades och konstaterade stark gasollukt samt sus från nedstigningsbrunnen till gasolcisternen. Man upptäckte en vätskefasläcka i packningen till flänsförbandet före en ventil på cisternen. Infartsvägen till området stängdes av och räddningskåren larmades. Läckaget bedömdes som allvarligt. Gaslukt känndes ca. 500 m från tanken. Man övervägde att varna kringboende men gjorde inte detta eftersom läckaget avtog av sig självt. Räddningschef i samråd med gasolansvarige beslöt att tömma cisternen som

bedömdes innehålla ca. 17 m³ gasol i vätskefas. Tankbil rekvirerades. Nedstigningsbrunnen till cisternen renblåstes med tryckluft varefter flänsförbandet drogs åt. Efter överpumpning av gasol till tankbil facklades resterande gasol bort.

8.1.2 Erfarenheter och vidtagna åtgärder

Det inträffade gav följande erfarenheter:

- *Telefonlistorna i beredskapsplanen måste innefatta nummer till nyckelpersoner under icke kontorstid.
- *Det bör inte råda oklarhet om i vilket läge omkringboende ska varnas eller evakueras.
- *Räddningspersonalen behöver övning i att hantera gasolläckage.

Spänningar och förskjutning i flänsförbandet var orsakade av sättningar i marken där rörledningen var nedgrävd. Sättningen orsakades av felaktigt utförd återfyllning efter nedgrävningen av cisternen. Bl.a. låg ett stenblock på sådant sätt att det åstadkom tryck mot rörledningen.

Efter händelsen bestämde man sig för att vidtaga följande åtgärder:

Rörledningen mellan markyta och cistern kommer att förläggas i kulvert och marken hårdgöras för att undvika spänningar i flänsförband. Gaslarm ska installeras i nedstigningsbrunnen till cisternen. För att minska risken för gnistbildning förses manluckan med gummipackning. Gasolansvarige ska utrustas med gasmätare. Räddningstjänsten ska utrustas med facklingsutrustning mm. som kan erfordras vid gasololycka.

8.1.3 Läckage i flänsförband på cistern

Skulle läckage uppstå i flänsen på cisternen hjälper det inte att stänga cisternventilen eftersom läckan finns före denna. Rörbrottsventilen som sitter innanför cisternväggen kan däremot användas för att stoppa gasolflödet. Genom att snabbt öppna en ventil mellan cisternens avtappningsledning och omgivningen sänks trycket i rörledningen varvid röravbrottsventilen stänger. Den "frivilligt" utsläppta gasolmängden blir förhållandevis liten. Efter reparation "öppnas"

rörbrottsventilen genom att avtappningsledningen trycksätts. Det kan ske genom att den via en alternativ väg sätts i förbindelse med cisternen.

8.2 Gasolvätskegenomslag i Tierp

8.2.1 Händelseförlopp

Händelsen inträffade i panncentralen vid Vallskogavägen i Tierp. Anläggningen producerar hetvatten för fjärrvärmenätet i Tierp. Totala effekten är 6 MW fördelad på en 4 MW panna och en 2 MW panna. Gasolcisternen har volymen 200 m³.

890301 skedde i anläggningen ett fel som resulterade i att gasol i vätskefas strömmade ut i gasfasledningen efter förångarna och vidare till pannorna. Nedan görs ett försök att rekonstruera och dra slutsatser av händelseförloppet.

Närmast efter förångarna sitter, räknat i gasens strömningsriktning, två parallellkopplade tryckreduceringsventiler, oljeavskiljare och brännarsträcka med mellanreduceringsventil. Se fig. 3.

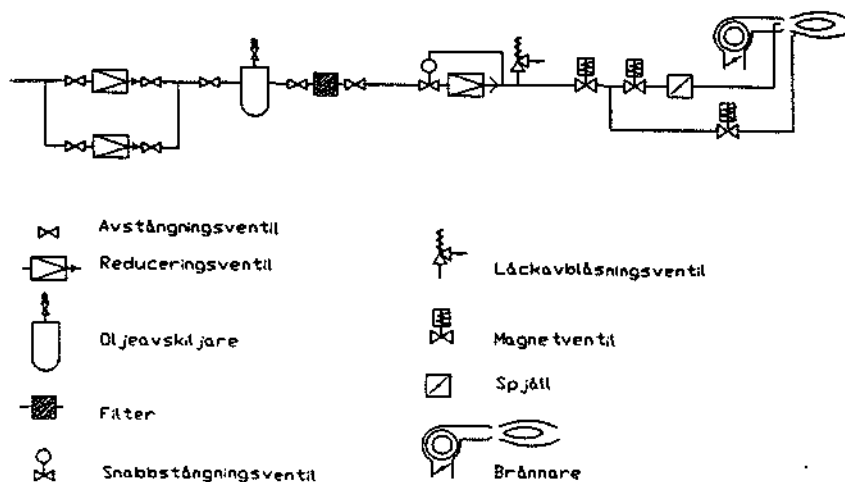


Fig. 3. Gassträckan efter förångarna i pannanläggning.

Reduceringsventilerna närmast efter förångarna saknar snabbstängningsventil som snabbt ska stänga

gastillförseln om det reducerade trycket blir för högt. En snabbstängningsventil som löst ut blockerar gastillförseln tills manuell återställning sker.

Gasolvätskan strömmade igenom reduceringsventilerna. Strypningen i reduceringsventilerna sänkte trycket under ångtrycket för gasol vid rådande temperatur. Gasolvätskan i rörledningen efter reduceringsventilerna förångades med ökning av trycket och minskning av temperaturen som följde. Säkerhetsventilen på oljeavskiljaren, som sitter efter reduceringsventilerna, blåste. Därvid utgick gaslarm till SOS-alarmering.

8.2.2 Förloppet i reduceringsventilerna

Reduceringsventilerna fungerar på så sätt att de successivt stryper gastillförseln när trycket på nedströmssidan ökar. När trycket på nedströmssidan överskrider det inställda värdet för det reducerade trycket ska reduceringsventilen stänga helt. Fig. 4 visar en reduceringsventil i genomskärning.

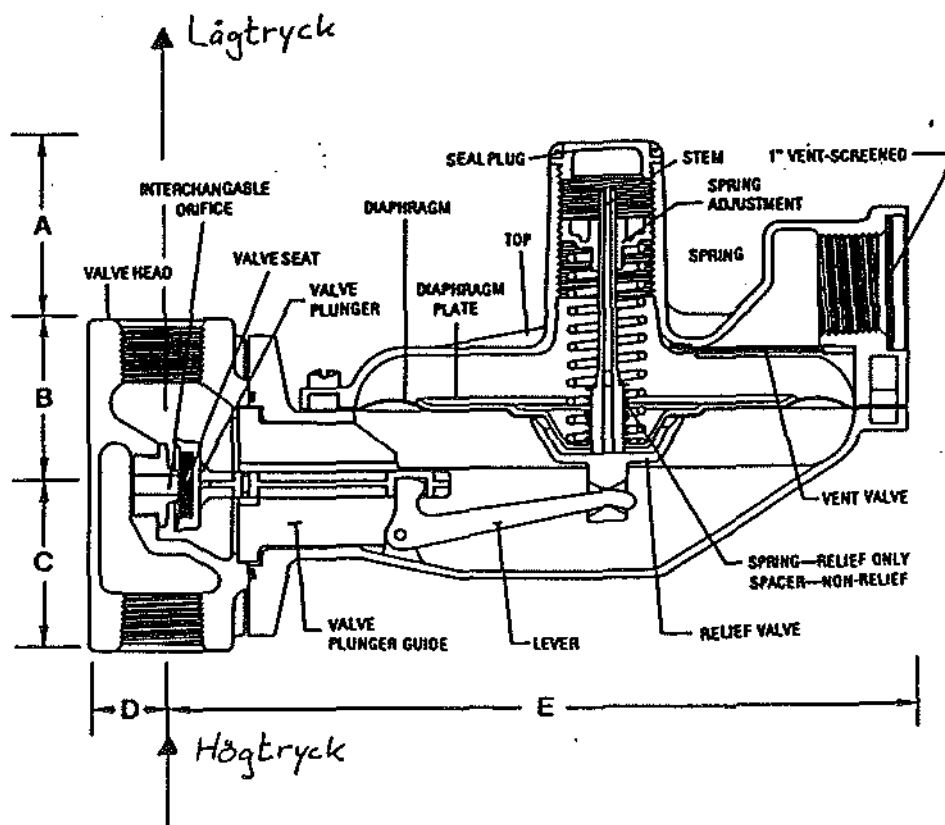


Fig. 4. Reduceringsventil utan snabbstängningsventil.

Brännare som var i drift, rörsystemets volym och reduceringsventilernas tidskonstanter orsakade förmodligen en tidströghet som gjorde att gasolvätska hann strömma ända fram till brännarna innan någon ventil stängde.

Ökar trycket, pga. gasolvätskeförångning på lågtrycks-sidan, över reduceringsventilens stängningstryck pressas membranet i ventilen allt längre uppåt. Brister membranet blir det fri passage för gasolen genom ventilen om snabbavstängningsventil saknas eftersom fjädern strävar att öppna ventilkägglan.

Är rörledningen på lågtryckssidan förbunden med atmosfären, t.ex. genom en brännare som är i drift, kommer så småningom trycket att sjunka under på reduceringsventilen inställt tryck. Därvid öppnar ventilen och släpper fram mer gasol. Finns det snabbstängningsventil stänger denna så fort trycket på lågtryckssidan överskrider det normala. En snabbstängningsventil blockerar gastillförseln tills manuell återställning sker. Se Fig. 5.

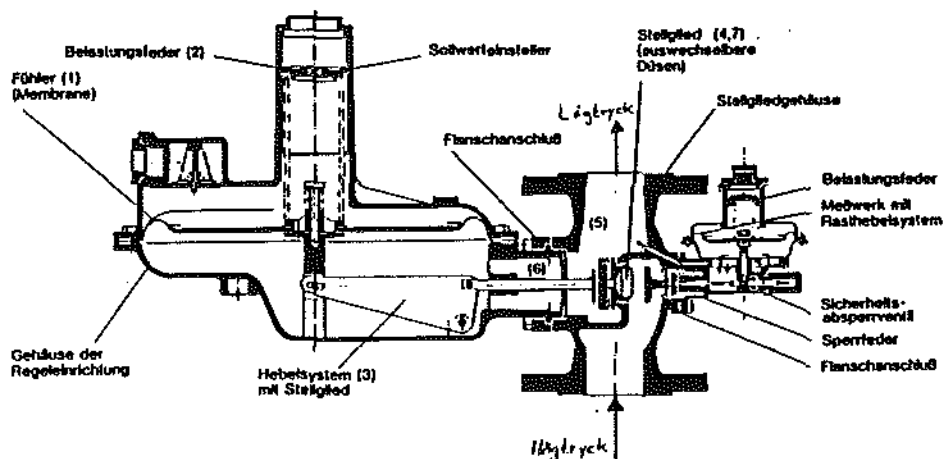


Fig. 5. Reduceringsventil med snabbstängningsventil.

Gasolvätska nådde brännarsträckan. Mellanreduceringsventilen, som är sammanbyggd med en snabbavstängningsventil och läckavblåsningsventil släppte på samma sätt som beskrivits ovan igenom gasolvätska till brännarna som var i drift.

Med stor sannolikhet stängde snabbavstängningsventilen, pga. tryckökningen orsakad av den kokande gasolvätskan.

Gasolvätska blev då instängd mellan huvud- och mellanreduceringsventil. Läckavblåsningsventilen, som ska öppna vid ett tryck som är högre än det högsta tillåtna trycket på lågtryckssidan men lägre än snabbavstängningsventilens stängningstryck, blåste förmodligen. Se fig.3.

8.2.3 Förångarsystemets funktion

Förångarna, två stycken parallellkopplade, överför gasol i vätskeform till gas. Värme tillförs via varmvatten. Varmvatten produceras genom värmväxling med hetvattnet i fjärrvärmesystemet eller genom värmning i elpanna. Normalt ska låg varmvattentemperatur resultera i larm till kontrollrum och att gasoltillförseln avbryts genom att magnetventiler före förångarna stängs. En magnetventil sitter vid inloppet till varje förångare. Hög gasolvätskenivå i förångaren ska först resultera i larm till kontrollrum och vid ytterligare högre nivå (hög-hög) i att ovan nämnda magnetventiler stängs. Indikering av magnetventilernas läge finns i kontrollrum.

8.2.4 Orsak till förångfel

Reglerventilen för fjärrvärmevatten till mellanvärmväxlaren slutade fungera. Elpannan som skulle övertagit värmeförseln gjorde inte detta. Varför är oklart. Varmvattentemperaturen sjönk. Detta skulle ha utlöst larm och stängt gasoltillförseln. Så skedde inte. Varför är oklart. Vätskenivån i förångaren steg, vilket utlöste larm. Vätskenivån steg ytterligare varvid givare för nivå hög-hög skulle stängt av gasoltillförseln. Så skedde inte. Vätskeformig gasol strömmade ut i gasledningen efter förångaren.

Man frapperas av att alla säkerhetsfunktionerna falerade. Sannolikheten för att detta ska hända är som diskuteras under avsnittet om tillförlitlighetsteknik mycket liten. Förmodligen var inte alla säkerhetssystem i drift då det beskrivna felet inträffade.

8.2.5 Åtgärder

Gasolflödet stängdes av manuellt med avstängningsventiler efter förångarna. Trycket i rörledningarna steg till ca.14 bar pga. förångning av instängd gasol. Gasolvätskan i ledningen mellan förångarna och brännarsträckan facklades bort. Felaktiga komponenter utbyttes. Varmvattensystemet gjordes om så att elpannan ligger i serie efter värme-växlaren. Elpannan är alltid i drift och styrs av en termostat som är inställd på en något lägre temperatur än börvärdet för värmeväxlarens reglerutrustning.

8.2.6 Tänkbara konstruktionsförbättringar

De magnetventiler som ska stänga av gasoltilloppet sitter före förångarna. I den aktuella panncentralen är de försedda med förbigång. Man kan alltså genom att manuellt öppna avstängningsventilen i förbigången sätta säkerhetssystemet ur spel. Denna konstruktion är diskutabel.

Huvudreduceringsventilerna bör vara försedda med snabbstängningsventil. Härigenom säkerställs automatisk och permanent avstängning om gasolvätska skulle komma ut i rörsystemet efter reduceringsventilerna. Vid vätskegenomslag kan gasolvätska bli instängd mellan huvud- och mellanreduceringsventilerna. Därför bör det finnas säkerhetsventil längs den rörsträckan.

För att öka säkerheten att förhindra vätskegenomströmning till systemet efter förångaren kommer i framtiden konstruktionsanvisningarna att föreskriva magnetventiler både före och efter förångare. Magnetventilerna ska stänga vid hög vätskenivå i förångarna eller låg temperatur på gas eller värmebärare.

9 Tillförlitlighetsteknik

9.1 Allmänt

Vid analys av fel och andra händelser i gasolanläggningar kan tillförlitlighetsteknik vara ett bra hjälpmedel. Målsättningen med det tillförlitlighetstekniska arbetet kan t.ex. vara att:

- fastställa anläggningars tillförlitlighet
- fastställa nödvändig redundans
- fastställa säkerhetskriteria
- fastställa inspektions och underhållsrutiner
- fastställa lämpliga driftformer
- identifiera svaga punkter i anläggningar
- vida åtgärder för att öka säkerhet, funktionssannolikhet och tillgänglighet

9.2 Grundläggande begrepp

Funktionssannolikhet=sannolikheten att utrustningen fungerar under en viss tid, under vilken inga reparationer och inget underhåll får ske. Det ska ske inom givna prestandagränser vid en given ålder på utrustningen. Begreppet förutsätter att utrustningen används på det sätt den är avsedd att användas i en given belastningsmiljö.

Tillgänglighet=sannolikheten att utrustningen fungerar vid vilken tidpunkt som helst. Med fungerar menas att utrustningen ska vara kapabel att uppfylla givna prestandagränser, men inte behöver göra det vid ifrågavarande tidpunkt. En maskin kan t.ex. gå på tomgång eller dellast. Tiden innefattar drifttid, reparationstid, tid då utrustningen står pga. väntan på reservdelar eller reparationsresurser.

Underhållsmässighet=sannolikheten att framgångsrikt genomföra en specificerad underhållsåtgärd inom en föreskriven tid.

De tre fundamentala definitionerna är alla sannolikheter. Det innebär att de är tal mellan noll och ett.

MTTF=mean time to failure, medeltid till fel

MTTR= mean time to repair, medeltid för att reparera ett fel.

MTBF= mean time between failures, medeltid mellan fel.
 MTBF är summan av medeltid till fel och medeltid för att reparera fel. $MTBF=MTTF+MTTR$.

9.3 Konstruktionsfilosofier

För att åstadkomma en tillförlitlig konstruktion kan man gå två vägar. Antingen begränsar man en komponents användningstid eller också ser man till att fel på en komponent inte medför att hela systemet slutar fungera. Dessa filosofier kallas "safe life" respektive "fail safe".

Safe life innebär att sannolikheten för fel pga. utmattning eller förslitning är minimal under en viss bestämd användningstid efter vilken komponenten tas ur tjänst.

Fail safe innebär att konstruktionen är tillräckligt stark trots viss förslitning eller begynnande spricktillväxt. System konstruerade enligt fail safe filosofin kan också vara redundanta dvs. försedda parallella komponenter som var och en kan upprätthålla funktionen hos systemet.

Det finns emellertid alltid en sannolikhet större än 0 att fel ska inträffa. Såväl belastningen på en komponent som komponentens styrka är ju stokastiska variabler. Oavsett vilken säkerhetsmarginal man konstruerar för finns en risk att belastningen överskrider styrkan vilket leder till haveri. Denna risk beror av säkerhetsmarginalen och utseendet på täthetsfunktionerna för styrka och belastning.

9.4 Händelseträd

9.4.1 Funktionsbeskrivning med händelseträd

Nedan visas en metod för att bestämma vilken funktionssannolikhet ett system uppbyggt av givna komponenter har. För detta fordras kännedom om komponenters funktionssannolikhet. Metoden kan också användas utan kunskap om individuella komponenters funktionssannolikhet för att jämföra olika systemlösningar ur tillförlitlighetssynpunkt. Metoden grundar sig på att systemets funktion beskrivs med ett sk. händelseträd.

Ett system utgörs av undersystem och komponenter organiserade i en struktur. Ett händelseträd beskriver

det funktionsmässiga beroendet i strukturen. Detta beroende åskådliggörs med logiska AND och OR grindar motsvarande serie och parallellkoppling i systemstrukturen. Händelseträdet ger möjlighet till kvantitativ tillförlitlighetsanalys av komplexa system.

9.4.2 Konstruktionsregler för händelseträd

- * Utgå från ett flödesschema för systemet.
- * Inför topphändelsen som kan vara antingen "systemet fungerar" eller "systemet fungerar inte".
- * Funktionsmässiga parallellkopplingar av komponenter och delsystem motsvaras av OR-grindar, seriekopplingar av AND-grindar.
- * Händelseträdet för komplementhändelsen får man genom att byta AND-grindar mot OR-grindar och vice versa.
- * AND-grindar kombinerar sannolikheter till:

$$p_s = p_1 * p_2 * p_3 * \dots$$
- * OR-grindar kombinerar sannolikheter till:

$$p_s = 1 - (1 - p_1) (1 - p_2) (1 - p_3) \dots$$
- * Beroende på om topphändelsen är "systemet fungerar" eller "systemet fungerar inte" sätter man in funktionssannolikheter, R, eller felsannolikheter, F.

Händelseträdet kan användas för att beräkna enkla systems funktionssannolikheter, R_s , eller felsannolikheter, F_s , enligt relerna ovan. Genom att sätta in värden på komponenters och delsystems medeltillgänglighet kan systemets medeltillgänglighet, A_s , kvantifieras.

Medeltillgängligheten för en komponent eller ett system

$$\text{ges av: } A_{av} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF= medeltid mellan fel.

MTTR= medeltid för att reparera fel.

Uttrycket gäller oberoende av typen av fördelningsfunktion för tid mellan fel och tid att reparera fel.

9.4.3 Exempel på händelseträd

Ett gasolförångarsystem, liknande det i panncentralen i Tierp, som värms med hetvatten tas som exempel för att åskådliggöra konstruktionen av händelseträd. Se fig. 6.

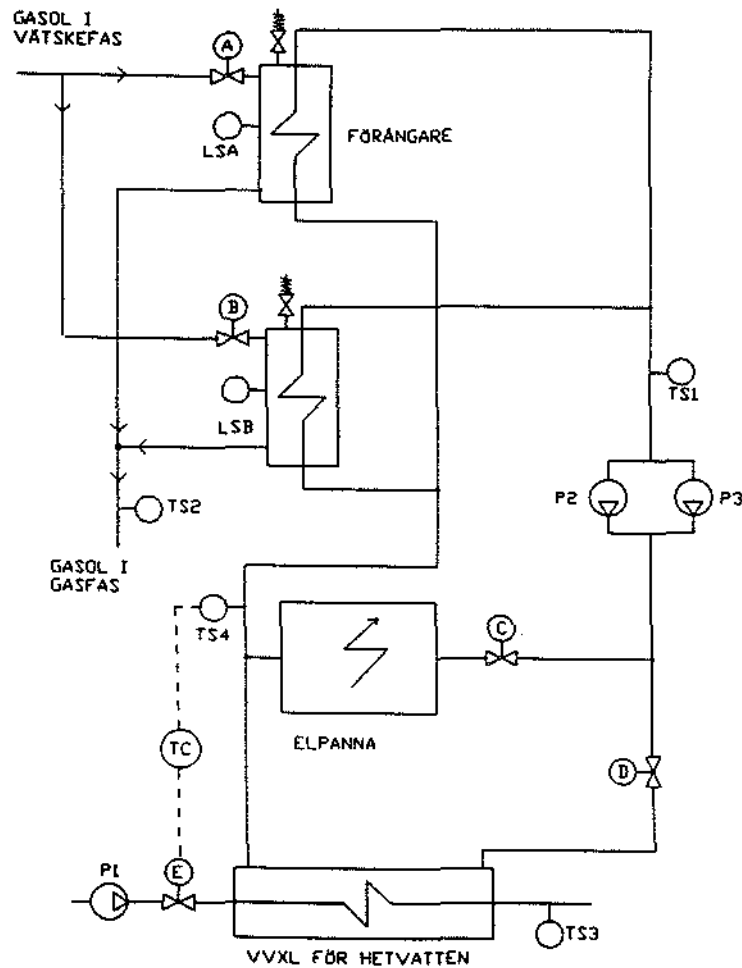


Fig. 6. Exempel på gasolförångarsystem.

Topp händelsen är att gasolvätsketillförseln ska avbrytas om tillräckligt med värme inte tillförs förångarna. Förångarsystemets funktion beskrivs nedan.

Förångarna är parallellkopplade och tillförs gasol i vätskefas via en magnetventil per förångare, A och B i fig. 6. Bli r temperaturen på det vatten som värmer förångarna för låg ska temperaturkontakten TS1 stänga ventilerna A och B. I gasfasledningen efter förångarna finns en annan temperaturkontakt TS2 som ska stänga ventilerna A och B om gasolgstemperaturen blir för låg.

Varje förångare är försedd med en nivåkontakt LSA respektive LSB som stänger ventilen till respektive förångare om gasolvätskenivån i förångaren blir för hög. Figur 7 och 8 visar funktions respektive felträden för ovan beskrivna system.

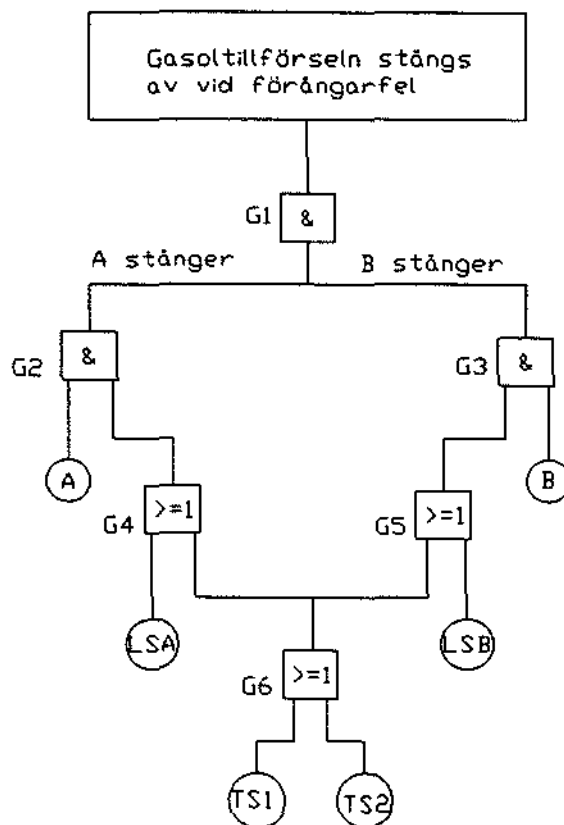


Fig. 7. Funktionsträdet för förångarsystemet i fig. 6.

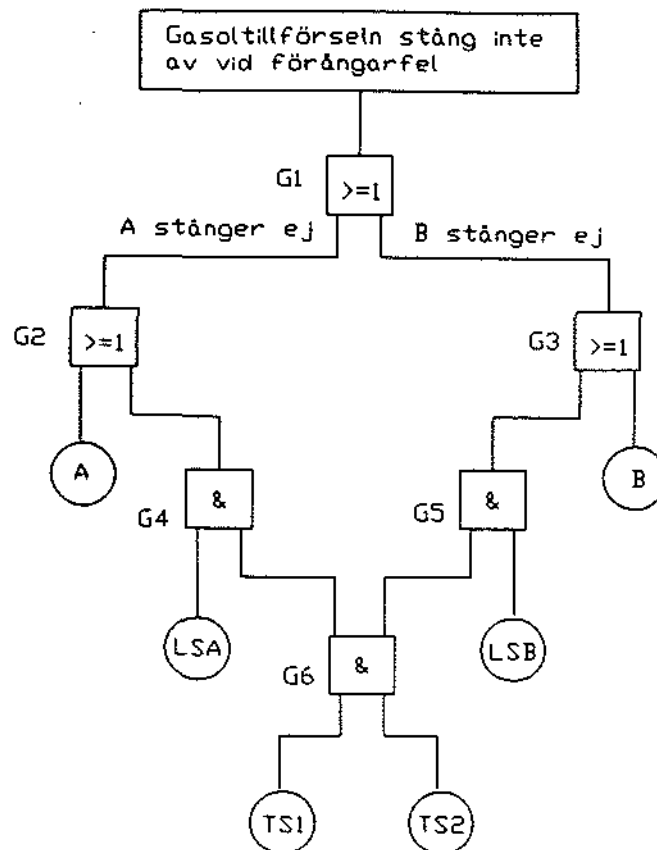


Fig. 8. Felträdet för förångarsystemet i fig. 6.

9.4.4 Hantering av komplicerade händelseträd

Med ovanstående regler kan man göra en precis beräkning av ett systems funktionssannolikhet eller tillgänglighet. För mer komplicerade system blir emellertid beräkningarna besvärliga. Beräkningen kan avsevärt förenklas genom att man nöjer sig med att beräkna övre och nedre gränser på R_s eller A_s . Det kan göras med metoderna "minimal paths" respektive "minimal cuts".

Två villkor på händelseträdet måste därvid vara uppfyllda:

1. Varje komponent måste vara relevant, dvs. ha inflytande på systemet, och vara oberoende av andra komponenter. Oberoende innebär att fel på en komponent inte utlöser fel på en annan komponent.

2. Den så kallade strukturfunktionen, ϕ , har systemkomponenternas funktionssannolikheter som fria variabler. Strukturfunktionen som har egenskapen att $\phi=1$ om varje komponent i systemet fungerar och $\phi=0$ om hela systemet felar, måste vara monotont växande för växande funktionssannolikhet hos varje komponent.

Vid analys av ett system börjar man med att rita händelseträdet enligt ovan angivna regler med topphändelsen "systemet fungerar", funktionsträdet. Genom att byta AND och OR grindar erhåller man händelseträdet med topphändelsen "systemet fungerar inte", felträdet. Med hjälp av nedan angivna regler ordnas komponenterna i två kritiska strukturer kallade "minimal paths" och "minimal cuts". Mot varje sådan struktur svarar en strukturfunktion ϕ_p respektive ϕ_k med ovan angivna egenskaper. Gränserna för R_s eller A_s ges av strukturfunktionen.

9.4.5 Händelseträd och strukturfunktioner

Händelseträden upplöses enligt nedanstående regler för AND och OR-grindar. Resultatet blir ett antal komponentkedjor kallade "minimal paths" och "minimal cuts".

Varje OR-grind delas upp i lika många rader som det är komponenter anslutna till grinden.

Varje AND-grind delas upp i lika många kolumner som det är komponenter anslutna till grinden.

För att få fram "minimal paths" och motsvarande strukturfunktion ϕ_p börjar man med toppgrinden och arbetar sig stegvis ned genom strukturen. Slutresultatet blir ett antal rader (komponentkedjor), "minimal paths", som anger det minsta antal komponenter som måste fungera för att systemets avsedda funktion ska uppnås. Förekommer samma komponent mer än en gång i en "path" eller komponentkedja reduceras denna så att varje komponent förekommer endast en gång i varje "path". Funktionssannolikheterna för de komponenter som ingår i en komponentkedja multipliceras. Erhållna värden benämnes $P_1, P_2 \dots$ osv. Om komponenterna a, b och c utgör "path" 1 får man alltså:

$$P_1 = R_a * R_b * R_c$$

Strukturfunktionen ϕ_p ges av uttrycket:

$$\phi_p = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots$$

De ovan givna reglerna används också för att få fram "minimal cuts". När man arbetat sig igenom felträdet får man ett antal rader. Var och en utgörande en

komponentkedja för "minimal cuts". Falerar alla komponenter i en kedja falerar också systemet. Varje komponent ska förekomma endast en gång i varje komponentkedja. Funktionssannolikheterna, R_a , R_b osv. , för de i en kedja ingående komponenterna används för att beräkna $K_1, K_2 \dots$ osv. där:

$$K_i = 1 - (1 - R_a)(1 - R_b) \dots$$

Strukturfunktionen Φ_k ges av:

$$\Phi_k = K_1 * K_2 * K_3 \dots$$

Figur 9 visar hur ovanstående regler tillämpats för att få "minimal paths" och "minimal cuts" för gasolförångar systemet i fig. 6.

G1 --> G2, G3

G2, G3 --> A, G4, B, G5

A, G4, B, G5 --> A, LSA, B, LSB = Path₁

A, G6, B, G6 --> A, TS1, B, TS1 = Path₂

A, TS2, B, TS2 = Path₃

Om alla komponenter i path 1, 2 eller 3 fungerar stängs gasoltillförseln av vid avbruten värmertilförsel till förångaren.

G1 --> G2
G3

G2 --> A = Cut₁

G4 --> LSA, G6 --> LSA, TS1, TS2 = Cut₂

G3 --> B = Cut₃

G5 --> LSB, G6 --> LSB, TS1, TS2 = Cut₄

Om alla komponenter i cut 1, 2, 3 eller 4 falerar stängs inte gasoltillförseln av vid avbruten värmertilförsel till förångaren.

Fig.9. Minimal paths och minimal cuts från händelseträden för gasolförångarsystemet i fig. 6.

Enligt ovan angivna regler får man:

$$P_1 = R(A) * R(LSA) * R(B) * R(LSB)$$

$$P_2 = R(A) * R(TS1) * R(B)$$

$$P_3 = R(A) * R(TS2) * R(B)$$

Strukturfunktionen för "minimal paths" blir:

$$\Phi_p = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)$$

$$K_1 = 1 - (1 - R(A))$$

$$K_2 = 1 - (1 - R(LSA))(1 - R(TS1))(1 - R(TS2))$$

$$K_3 = 1 - (1 - R(B))$$

$$K_4 = 1 - (1 - R(LSB))(1 - R(TS1))(1 - R(TS2))$$

Strukturfunktionen för "minimal cuts" blir:

$$\Phi_k = K_1 * K_2 * K_3 * K_4.$$

9.4.6 Gränser för funktionssannolikhet

Under förutsättning att villkoren givna ovan, dvs. relevanta och oberoende komponenter, strukturfunktion som växer monotont med funktionssannolikheten hos varje komponent, gäller för funktionssannolikhet eller tillgänglighet för systemet att:

$$\Phi_k \leq R_S \leq \Phi_p$$

Genom att införa en gemensam funktionssannolikhet, p , för alla komponenter i systemet kan man på ett enkelt sätt få en första uppskattning av systemets funktionssannolikhet. Vill man jämföra olika systemlösningars funktions-sannolikhet tar man fram Φ_k och Φ_p för systemen i fråga och sätter funktionssannolikheten lika för alla komponenter.

För förångarsystemet i fig. 6. får man:

$$P_1 = p^4 \quad P_2 = p^3 \quad P_3 = p^3$$

$$K_1 = 1 - (1 - p) \quad K_2 = 1 - (1 - p)^3 \quad K_3 = 1 - (1 - p) \quad K_4 = 1 - (1 - p)^3$$

$$\Phi_k = (1 - (1 - p))^2 * (1 - (1 - p)^3)^2$$

$$\Phi_p = 1 - (1 - p^4)(1 - p^3)^2$$

Tabell över gränserna för gasolförångarsystemets funktionssannolikhet för olika värden på komponenternas funktionssannolikhet.

	p=0.95	p=0.90	p=0.85	p=0.80
undre gräns	0.9023	0.8084	0.7176	0.6298
övre gräns	0.9962	0.9747	0.9288	0.8594

9.5 Exponentialfördelningen

Det är vanligt att tekniska system har en konstant sannolikhet att gå sönder under systemets livstid. Felsättet kännetecknas av slumpmassiga fel. Den matematiskt lätthanterliga exponentiella felfördelningsfunktionen kan då användas för att beskriva systemet. Resonemanget nedan förklarar detta förhållande.

Till att börja med införs begreppen $R(t)$ och $F(t)$.

$R(t)$ kallas funktionssannolikheten och uttrycker sannolikheten att en komponent eller ett system fungerar under tiden t .

$F(t)$ kallas fel sannolikheten och anger sannolikheten för komplementhändelsen, dvs. att komponenten eller systemet inte fungerar under tiden t .

Det gäller att $R(t)+F(t)=1$.

$R(t)$ och $F(t)$ beror av felsättet. De felsätt som är allmänt förekommande i olika typer av maskiner är slumpmässiga fel och utmattningsfel.

Slumpmässiga fel kännetecknas av att sannolikheten för att de ska inträffa är lika stor under hela livslängden.

Antag att sannolikheten q att fel ska inträffa i någon av en grupp komponenter är konstant under varje tidsintervall Δt . Det kan uttryckas som att andelen återstående komponenter som felar per tidsenhet, felintensiteten, z är konstant.

Det gäller alltså för ett tidsintervall Δt att $q=z*\Delta t$.

Sannolikheterna att ingen komponent ska gå sönder under N respektive $N+1$ tidsinkrement blir då:

$$R_N=(1-q)^N$$

$$R_{N+1}=(1-q)^{N+1}$$

$$\text{Enär } F(t)=1-R(t) \text{ får man } dF=F((N+1)*\Delta t)-F(N*\Delta t)=R_N-R_{N+1}=(1-q)^N-(1-q)^{N+1}=q(1-q)^N.$$

Sätter man $N=\frac{t}{\Delta t}$ där t är tiden får man med

$$q=z*\Delta t:$$

$$dF=z*\Delta t*(1-z*\Delta t)^{t/\Delta t}$$

Omskrivning till

$$dF=z*\Delta t*((1+(-z*\Delta t))^{1/\Delta t*z})^{-t*z} \text{ och gränsövergång då}$$

Δt går mot 0 ger att

$$\frac{dF}{dt} = z * e^{-z*t} \text{ ty } \lim_{n \rightarrow 0} (1+n)^{1/n} = e.$$

Integrering ger,

$$F(t) = -e^{-z*t} + C$$

Konstanten C bestäms av villkoret att $F(0)=0$, dvs. $C=1$.

Alltså $F(t) = 1 - e^{-z*t}$ och, eftersom $R(t) = 1 - F(t)$,
 $R(t) = e^{-z*t}$.

Denna fördelningsfunktion kallas exponentialfördelning och beskriver slumpmässiga fel med samma felrisk under hela livslängden.

Det innebär konstant felintensitet. Omvänt innebär en konstant felintensitet exponentialfördelning.

Exponentialfördelningen beskriver både enskilda komponenter med slumpmässiga fel (mindre vanligt i praktiken) och underhållna system vars komponenter inte behöver ha något speciellt felsätt.

För MTTF, medeltid till fel, funktionssannolikhetens väntevärde, en konstant som definieras av

$$\int_0^{\infty} R(t) * dt \text{ får man för exponentialfördelningen att}$$

$$MTTF = 1/z.$$

Alla andra felfördelningar har inte konstant felintensitet och därmed MTTF skillt från $1/z(t)$.

9.6 Felsätt för komponenter och system

Ovan har visats att konstant felintensitet medför exponentiell fördelningsfunktion och omvänt. I ett underhållet system av många komponenter pågår på platsen för varje komponent vad man skulle kunna kalla en förnyelseprocess. Komponenter byts ut eller repareras vartefter de går sönder. Hela systemets felsätt blir en superposition av de ingående komponenternas förnyelseprocesser.

I allmänhet har enskilda komponenter inte i tiden konstant felintensitet, z , dvs. har inte exponentiell felfördelningsfunktion. En välkonstruerad komponent havererar pga. utmattning eller förslitning och ett sådant felsätt beskrivs med Weibullfördelningen.

Antag att en komponent har en medeltid mellan fel, MTBF, som är lika med m . MTBF är summan av medeltid till fel och medeltid för att reparera fel. $MTBF = MTTF + MTTR$. I ett underhållet system byts komponenten ut varefter den går sönder. Säg att $N(t)$ utbyten sker på tiden t , man får då för ett fortfarighetstillstånd:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{t} = 1/m = \text{konstant}$$

Sett under en tillräckligt lång tid uppvisar alltså den underhållna komponenten konstant felintensitet och kan därmed beskrivas med exponentialfördelningen.

Ett system av underhållna komponenter kommer att få en exponentiell felfördelning med den konstanta felintensiteten z_s .

$$z_s = 1/m_1 + 1/m_2 + 1/m_3 + \dots$$

Där m_1 , m_2 , osv. är komponenternas medeltid mellan fel, MTBF. Detta trots att de individuella komponenterna inte har exponentiell felfördelning.

Genom att räkna antalet fel under den tid systemet är i drift kan man få en uppskattning av systemets och komponenters felintensitet och MTBF. Felsannolikhet och funktionssannolikhet kan sedan beräknas med sambanden för exponentialfördelningen.

Provning ger möjlighet att experimentellt bestämma en komponents MTTF, felfördelningsfunktion och funktionssannolikhet. Kunskap om komponenters funktionssannolikhet är som visats ovan mycket värdefullt vid analys av ett systems tillförlitlighet.

10 Erfarenhetsåterföring

10.1 Allmänt

Det övergripande syftet med att systematiskt rapportera fel, haverier, incidenter och olyckor, m.m. är att förbättra teknik, tillförlitlighet, säkerhet och att anpassa regler och normer till verkligheten.

Principen för ett sådant rapporteringssystem framgår nedan.

Inrapportering av åtgärder och händelser	-->	Bearbetning och analys	-->	Presentation och feed back
t.ex. Blanketter Rapporter		t.ex. kategorisering dataregistrering		t.ex. Teknikmeddelande Sammanställningar

Enligt förordningen om brandfarliga varor, SFS 1988:1145 § 19, skall tillsynsmyndigheten underrättas om tillbud eller olycka med brandfarlig vara inträffat. Med tillsynsmyndighet förstås när det gäller gasol kommunens räddningsnämnd. Rapporteringsskyldigheten avser dock endast allvarliga olyckor och tillbud. Anvisningar för hur en rapport ska utformas och vad den bör innehålla saknas.

På naturgasområdet är reglerna klarare och anvisningar för rapportering finns. I normverket för naturgasinstallationer med ett systemtryck på högst 4 bar, NGDN, framgår klart och tydligt att rapportering ska ske på särskild blankett till Svenska Gasföreningen.

Liknande rapportblanketter som används i utlandet har studerats. Informationen de ger är ganska allmän. Man får en uppfattning om när och var något hänt, vilket delsystem som drabbats och vilken typ av fel eller skada det rör sig om.

Ett exempel på rapporterings- och materieluppföljningssystem som är betydligt mer utvecklat och ger mångsidigare och mer detaljerad information är rutinerna för uppföljning av materiel inom försvaret. Rapportering sker här kontionuerligt och på detaljnivå. T.o.m. på individnivå för viss materiel. Även underhåll rapporteras.

10.2 Rapportering av händelser i gasolanläggningar

Slutsatserna från beskrivningen och analysen i denna rapport av två felfunktioner i gasolanläggningar är exempel på erfarenheter man kan få från sådana händelser. Den viktiga kunskap som finns att hämta liksom en ökande användning av gasol i stor skala är anledningar till att systematiskt börja rapportera, analysera och sprida erfarenheter från fel, incidenter och olyckor i gasolanläggningar.

Grundförutsättningen är att man får information att analysera. Ett förslag är att bestämmelserna för gasol skärps när det gäller rapportering så att alla händelser som kan ge viktig information ska rapporteras. Det ska ske på därför avsedd blankett som ska sändas till en gemensam organisation för behandling.

Gasol och naturgasinstallationer har stora likheter därför bör rapporteringssätt, rapporteringsnivåer, bearbetningsmetoder och presentationsmetoder från motsvarande system för naturgasanläggningar kunna användas med smärre modifieringar. Utprovning av rutiner och metoder bör dock först ske på prov i liten skala.

11 Resultat och rekommendationer

De erfarenheter som de två analyserade händelserna i gasolanläggningar givit liksom övriga resultat och slutsatser som bedöms som värdefulla sammanfattas nedan.

Räddningsmanskaper och driftpersonal behöver öva åtgärderna som ska vidtas vid gasolutsläpp.

Det får inte råda någon tvekan om när personer som uppehåller sig eller bor i närheten av ett gasolläckage ska varnas respektive evakueras.

Telefonlista över kontaktpersoner ska innefatta telefonnummer där nyckelpersoner kan nås under icke kontorstid.

Rörledning bör förläggas så att den skyddas från mekaniska skador. Vid återfyllning efter nedgrävning av cistern är det viktigt att det sker så att rörledningar inte skadas eller hamnar i spänn.

Rörbrotsventilen kan användas för avstängning vid läckage i fläns på cistern.

Magnetventiler i gasolledningen bör inte vara försedda med förbigång varmed säkerhetssystemen kan sättas ur funktion.

Magnetventiler bör placeras både före och efter förångare och stängas av hög gasolvätskenivå i förångare och/eller låg temperatur på gas och/eller värmebärare.

Automatisk och permanent avstängning av gasoltillförseln vid gasolvätskegenomslag till gassystemet fås om huvudreduceringsventilerna förses med snabbstängningsventil.

Kommer gasolvätska ut i ledningen efter huvudreduceringsventil kan vätska stängas in och förångas med höga tryck som följd. Därför kan säkerhetsventil behövas för tryckavlastning av gasledningen.

Tillförlitlighetsteknik kan vara ett värdefullt hjälpmedel vid behandling och analys av händelser i tekniska system. Händelsetråd beskrivs i rapporten som en lämplig metod för att bedöma olika konstruktioners funktionssannolikhet. Ett system av underhållna komponenter kommer att få en exponentiell felfördelning. Det underhållna systemets felintensitet och medeltid till fel kan lätt beräknas med kännedom om de ingående komponenternas medeltid till fel. Felsannolikhet och funktionssannolikhet för systemet kan sedan beräknas med sambanden för exponentialfördelningen.

Referenser

- [1] Gasolboken, Utvinning, hantering och användning av gasol. Statens energiverk, 1987:6.
- [2] Industrins gasolanläggningar, SBFs Rekommendationer 9:2 1984.
- [3] Allmänna anvisningar för utförande av gasolininstallationer 1980, Svenska Gasföreningen.
- [4] LPG-teknik, FUD-rapport, Vattenfall 1987.
- [5] Reliability for Mechanical Engineers, Introductory Course, Jan R. Schnittger, Institutionen för maskinelement 1984.
- [6] Rapporteringsanvisningar för flygmaterieltjänst.