
Rapport SGC 057

LÄCKAGEDETEKTERINGSSYSTEM I STORSKALIGA GASINSTALLATIONER

Fredrik A Silversand
Sydkraft Konsult AB

December 1994



Rapport SGC 057

LÄCKAGEDETEKTERINGSSYSTEM I STORSKALIGA GASINSTALLATIONER

Fredrik A Silversand
Sydkraft Konsult AB

December 1994



SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer

Sammanfattning

På uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center har en inventering avseende möjliga metoder för läckagedetektering i större gasinstallationer utförts. I rapporten jämförs olika metoder med utgångspunkt från tekniska prestanda såsom känslighet, noggrannhet, snabbhet och tillförlitlighet. Det är inte möjligt att i detalj beskriva implementeringskostnaderna i en generell studie av denna typ varför endast grova kostnadsindikeringar ges. Målsättningen med studien är att beskriva hur ett läckagedetekteringssystem bör byggas upp samt i vilken typ av anläggningar som installation av sådana kan bli aktuell.

Faktaunderlaget till inventeringen har erhållits genom litteratursökningar i olika databaser samt genom kontakter med leverantörer, representanter och användare. Det har varit förenat med vissa svårigheter att snabbt identifiera lämpliga referensanläggningar inom gasbranschen, trots att de personliga kontakter (bl a deltagande i olika internationella kommittéer) som existerar inom projektet utnyttjats. Branschen intar i allmänhet en avvaktande hållning till gasläckagedetektering. I första hand försöker man på konstruktionsteknisk basis undvika uppkomsten av gasläckage. Detektorernas prestanda har dock väsentligt förbättrats under de senaste åren och mycket arbete har lagts ned på FUD-verksamhet inom ramen för såväl GRI som IGU. Arbetet med att finna lämpliga referensanläggningar pågår f n och kommer, såvitt kan bedömas, att avslutas under mars 94.

Det existerar f n inga explicita normkrav avseende installation av läckagedetekteringssystem i gasanläggningar, men metoden kan i vissa fall utgöra ett värdefullt komplement i säkerhetsarbetet. Läckagedetekteringssystem bör endast installeras i sådana system där risknivån i egentlig mening kan reduceras genom åtgärden. En närmare analys visar att läckagedetekteringssystem främst bör övervägas vid omfattande gasinstallationer i stora utrymmen. I sådana fall existerar oftast ett stort antal potentiella läckageställen, samtidigt som de ekonomiska förlusterna vid en storolycka kan bli mycket omfattande. Eftersom det är svårt att klart definiera begreppet "omfattande gasinstallationer i stora utrymmen" bör en riskanalys ligga till grund för implementeringsbeslutet i varje enskilt fall.

Inventeringen visar att tre huvudalternativ existerar då det gäller tekniken för läckagedetektering

- mekaniska
- akustiska
- kemiska/fysikaliska metoder

Analysen visar att mekaniska metoder som bygger på flödes- och tryckmätning i systemet i första hand bör övervägas. Denna slutsats grundas på att sådana system redan delvis finns i de flesta gasinstallationer samt att det tillkommande underhållsbehovet är litet. Vidare gäller att tillförlitligheten för sådana system är mycket hög.

Akustiska metoder bör främst utnyttjas för att identifiera positionen för konstaterade läckage. Bristen på selektivitet medför att akustiska metoder inte är lämpade i fast installerade läckagedetekteringssystem.

De kemiska/fysikaliska metoderna innefattar ett brett spektrum av detektionsprinciper där känslighet, selektivitet och snabbhet kan variera inom vida intervall. I de flesta installationer ger konventionella gasvarningssystem, uppbyggda kring katalytiska sensorer eller halvledarsensorer, fullt tillräckliga tekniska prestanda.

Implementeringskostnaden kan variera från några tiotusen SEK till några miljoner SEK beroende på installationens och utrymmets utseende. I mindre installationer krävs endast ett fåtal detektorer medan man i omfattande installationer måste utnyttja ett stort antal. I de fall befintliga system (flödes- och/eller tryckgivare) kan utnyttjas, krävs endast mindre kompletteringar och anpassningar, vilka i de flesta fall torde vara relativt billiga. Kemiska/fysikaliska metoder baseras på en centralenhet, som generellt kostar några hundra tusen SEK, till vilken sensorer med en marginalkostnad på några tusen SEK per enhet ansluts. Beroende på centralenhetens tekniska komplexitet samt antalet installerade sensorer kan systemkostnaden således variera inom vida gränser.

Analysen visar att ett läckagedetekteringssystem i allmänhet bör byggas upp kring befintliga mekaniska givare samt kompletteras med ett konventionellt gasvarningssystem. Gasvarningssystemet ger larm vid närvaro av gas i utrymmet medan nödstopp endast kan initieras av det mekaniska övervakningssystemet. Genom att använda en avancerad logisk koppling av signalerna från detektorerna kan de uppställda tillförlitlighetskraven i princip alltid tillgodoses. Härigenom minskas sannolikheten för obefogade nödstopp till en acceptabel nivå.

För att kunna bedöma nyttan med säkerhetshöjande åtgärder måste man klarlägga hur riskkostnaden i anläggningen förändras. I omfattande gasinstallationer i stora utrymmen gäller att sannolikheten för en storolycka är relativt hög till följd av det stora antalet läckageställen. Samtidigt medför en storolycka kostnader i form av egendomsförlust, skadeståndskrav, resultatbortfall och imageförlust. Storleken av dessa kostnader kan självklart variera från fall till fall men uppgår inte sällan till hundratals miljoner SEK. En detaljerad analys av riskkostnadernas förändring visar ofta att det ekonomiska utrymmet för säkerhetshöjande åtgärder uppgår till flera miljoner SEK räknat per år.

Med utgångspunkt från den genomförda studien gäller att läckagedetekterings-system i vissa fall kan vara ett värdefullt komplement i säkerhetsarbetet. Läckagedetekteringssystem bör främst övervägas i omfattande gasinstallationer i stora utrymmen och en riskanalys bör ligga till grund för implementeringsbeslutet i varje enskilt fall. I riskanalysen bör den möjliga riskreduktionen vägas mot livscykelkostnaden för läckagedetekteringssystemet. I analysen bör även andra åtgärder som kan reducera risknivån i motsvarande grad beaktas. Ur företags-ekonomisk synvinkel bör den åtgärd väljas, som ger lägst livscykelkostnad, givet en viss riskreduktion. Generellt gäller att tämligen stora riskreduktionskostnader är företagsekonomiskt motiverade i de flesta stora anläggningar. Till denna rent ekonomiska värdering kommer imagemässiga aspekter som inte kan kvantifieras i ekonomiska termer.

Innehållsförteckning

<u>Kapitel</u>		<u>Sida</u>
1	Inledning	6
2	Målsättning	8
3	Problemställningar och praktiska krav	9
3.1	Läckagedetekteringssystemets beroende av gasinstallationens utseende	9
3.2	Detekteringsprinciper och inverkan av detektorernas placering	10
3.3	Känslighetsaspekter	11
3.4	Selektivitet	12
3.5	Inverkan av miljöfaktorer	13
3.6	Tillförlitlighetsaspekter	13
3.7	Underhållsfrågor	13
3.8	Kravspecifikation för upphandling av läckagedetekteringsutrustning	14
4	Metoder för läckagedetektering	18
4.1	Mekaniska metoder	18
4.1.1	Flödesmätning	18
4.1.2	Tryckmätningar	20
4.1.3	Material- och energibalansberäkningar	21
4.2	Akustisk detektering	21
4.3	Kemisk/fysikalisk detektering	22
4.3.1	Konventionella gasvarnare	22
4.3.2	Fysikaliska metoder	26
4.3.3	Kemiska metoder	28
4.4	Slutsatser	29
5	Kontakter med leverantörer av detektionsutrustning	32
5.1	Produktinformation och tekniska prestanda	32
5.2	Exempel på referensanläggningar och erfarenheter	35

6	Möjliga metoder för läckagedetektering i industrimiljö	37
6.1	Fördelar med implementering av läckagedetekteringssystem	37
6.2	Nackdelar vid implementering av läckagedetekteringssystem	37
6.3	Lämplig uppbyggnad av läckagedetekteringssystem	39
6.4	Kostnadsbild	40
7	Rekommendationer	41
7.1	Installationer där gasläckagedetekterings-system är lämpliga	41
7.2	Lämplig systemutformning	42
7.3	Kvarstående svagheter	42
7.4	Effekter på risknivån	43
7.5	Avslutande rekommendationer	45
8	Referenser	46

1**Inledning**

Föreliggande rapport ger en redovisning av olika metoder för detektering av gasläckage i storskaliga gasinstallationer. Studien har utförts på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center AB.

Riskmedvetenheten i samhället ökar successivt och allt större intresse fokuseras mot de risker som föreligger i processanläggningar av olika slag. Med risker avses konsekvenserna vid oönskade händelser, vilka leder till påverkan på egendom, miljö och människor. Den ökade riskmedvetenheten har medfört att myndigheter och företag i allt högre grad betonar betydelsen av ett kontinuerligt och kvalitetsmässigt riskanalysarbete. Riskanalysarbetet syftar till att identifiera, kvantifiera och åtgärda olika riskmoment.

Inom gasbranschen har säkerhetsarbetet på installationssidan hittills främst inriktats på att välja material och konstruktionssätt så att riskerna till följd av läckage minimeras. Denna studie avser belysa om implementering av gasläckagedetekteringssystem i vissa storskaliga gasinstallationer kan vara ett komplement i säkerhetsarbetet.

Läckagedetekteringssystem förekommer allmänt i processkemisk och petrokemisk industri, dels för att indikera läckage av brandfarliga gaser och dels för att ge larm vid utsläpp av giftiga gaser av olika typ. Läckagedetekteringsutrustning förekommer vidare i marina tillämpningar samt vid utvinning, lagring och transport av petroleumprodukter. Gasbranschen har hittills haft en avvaktande attityd till läckagedetekteringssystem även om mycket utredningsarbete har lagts ned inom ramen för IGUs och GRIs verksamhet avseende dessa frågor. Trots den avvaktande hållningen finns ett flertal exempel på installationer av läckagedetekteringssystem inom gasbranschen, sett i ett internationellt perspektiv.

Gasbranschens avvaktande hållning kan dels bero på en viss teknisk konservatism inom branschen och dels på det faktum att systemens tillförlitlighet och hållbarhet ofta visat sig otillfredsställande. Under de senaste åren har dock stora framsteg gjorts på instrument- och sensorområdet, vilket medfört att förutsättningarna väsentligt förbättrats.

Det finns tre huvudsakliga metoder för läckagedetektering: mekaniska, akustiska och kemiska/fysikaliska metoder. Dessa metoder har i viss utsträckning olika tillämpningsområden. I vissa fall bör ett läckagedetekteringssystem byggas upp kring flera metoder som kombineras med varandra genom olika logiska villkor.

Vid större gasläckage i slutna utrymmen finns risk för bildning av inneslutna brännbara gasblandningar. Vid antändning erhålls, beroende på rådande turbulensförhållandena, ett mer eller mindre våldsamt explosionsförlopp, som kan medföra ödeläggelse av byggnader samt leda till personskador/dödsfall. Ett speciellt problem vid inneslutna explosioner är de missiler som genereras vid explosionen och som kan spridas över ett stort område.

Det är möjligt att beräkna s k kritiska läckageflöden för uppkomst av brännbara gasblandningar i ett utrymme med utgångspunkt från rådande ventilationsförhållanden. Vid utsläppsflöden som är större än det kritiska läckageflödet finns risk för uppkomst av brännbara gasblandningar. Tidsfördröjningen från läckageinitiering till antändning kan variera inom vida gränser beroende på förutsättningarna men ligger i allmänhet i minutskala. Detekteringsutrustningen bör alltså kunna detektera kritiska läckageflöden inom en minut medan längre responstider kan accepteras för mindre, okritiska läckage. För att indikering skall kunna erhållas under den dynamiska delen av koncentrationuppbyggnaden krävs vidare en hög känslighet hos detektorn. Detektering bör därför vara möjlig vid halter motsvarande 1 % av den nedre explosionsgränsen. Läckagedetekteringssystemets tillförlitlighet måste vara mycket hög. Antalet obefogade driftstopp i anläggningen får endast ökas marginellt till följd av systemimplementeringen. Förutom ovanstående exempel på viktiga kriterier krävs att systemet är lätt att inspektera, underhålla och reparera.

För att uppfylla ovanstående kriterier med speciellt beaktande av tillförlitlighetskraven kan det visa sig nödvändigt att utnyttja flera detekteringssystem parallellt. Sådana möjligheter kommer att belysas längre fram i denna rapport.

Rapporten innehåller en teknisk beskrivning av olika läckagedetekteringsmetoder. Som utgångspunkt för utvärderingen av de olika metoderna ligger en kravspecifikation där olika nyckelfaktorer avseende teknisk funktion, tillförlitlighet och underhållsmässighet ingår. Metodbeskrivningarna baseras på litteraturreferenser respektive kontakter med leverantörer och användare. Informationen och kontakterna ger också underlag för att beskriva hur metoderna tillämpas och fungerar i reell industrimiljö. Därefter ges förslag på hur ett läckagedetekteringssystem lämpligen kan utformas för att fungera i större gasinstallationer. Baserat på den totala informationen ges slutligen rekommendationer avseende när läckagedetekteringen bör användas samt hur systemen bör vara uppbyggda.

2**Målsättning**

Uppdraget har ett flertal delmålsättningar. Dels är avsikten att studera olika metoder för gasdetektering genom litteraturinventeringar, kontakter med leverantörer samt genom diskussioner med användare inom process- och gasindustrin. Avsikten är vidare att redovisa hur ett gasdetekteringssystem bör vara uppbyggt för att kraven på känslighet, snabbhet, selektivitet, tillförlitlighet respektive underhållsmässighet skall kunna uppfyllas. Slutligen görs en översiktlig bedömning av hur risknivån i en anläggning kan förväntas reduceras då ett gasläckagedetekteringssystem installeras.

3 Problemställningar och praktiska krav

Innan beslut fattas avseende installation av läckagedetekteringssystem bör en riskanalys genomföras för att utvärdera åtgärdens riskreducerande potential. I denna analys bör även andra åtgärder som bidrar till att reducera risknivån beaktas, t ex konstruktions- och materialmässiga förändringar. I en del anläggningar kan konstruktions- och materialmässiga förändringar ha större effekt på risknivån än ett läckagedetekteringssystem.

3.1 Läckagedetekteringssystemets beroende av gasinstallationens utseende

Det är väsentligt att klargöra vilka typer av läckage som skall kunna identifieras av läckagedetekteringssystemet. Utgångspunkten härvid är, att sådana läckage som kan leda till bildning av inneslutna brännbara gasvolym, måste kunna detekteras snabbt, varefter lämpliga åtgärder skall kunna vidtas för att stoppa läckaget. Den kritiska läckagestorleken är avhängig ventilationsflödet i utrymmet medan koncentrationssupplyggnadsförloppet snabbhet också beror av utrymmets volym. I små utrymmen med låga ventilationsflöden kan brännbara gasblandningar uppstå även vid små läckage. I stora utrymmen med normal industriventilation krävs emellertid i allmänhet massiva läckage för att en riskfylld situation skall kunna uppkomma.

Konsekvenserna vid inneslutna explosioner är självklart beroende av den energimängd som omsätts vid explosionen. Därför blir konsekvenserna också väsentligt större vid inneslutna explosioner i stora anläggningar. Eftersom det är orealistiskt att installera läckagedetekteringssystem hos samtliga användare måste de installationer prioriteras där risknivån i egentlig mening kan påverkas av ett läckagedetekteringssystem. Mindre gasinstallationer är i allmänhet okomplicerade och innehåller därför endast ett fåtal potentiella läckageställen. Sannolikheten för gasläckage är därför låg. Samtidigt gäller att konsekvenserna vid en eventuell olycka är relativt begränsade.

I vissa fall förekommer omfattande och stora gasinstallationer i små utrymmen, t ex i M/R-stationer. Vid läckage i sådana anläggningar sker gasfyllning sannolikt så snabbt att ett läckagedetekteringssystem inte hinner reagera innan en brännbar gasblandning bildats. I ett sådant fall ökar inte ett läckagedetekteringssystem säkerheten på något påtagligt sätt. Här bör man i stället inrikta säkerhetsarbetet på konstruktions- och materialtekniska frågor. Vidare kan explosionsrisken reduceras genom val av explosionsklassad utrustning.

I fallet med omfattande gasinstallationer i stora lokaler finns ofta ett stort antal potentiella läckageställen varvid läckagesannolikheten ökar. Samtidigt gäller att konsekvenserna av en explosion kan bli förödande, dels för anläggningen som sådan men också för omgivningen. Beroende på den stora byggnadsvolymen erhålls också den tröghet i koncentrationssupplyggnaden som krävs för att ett

läckagedetekteringssystem skall kunna fungera, läckagedetekteringssystemets responstid är således kortare än det tidsintervall under vilket den brännbara gasvolymen bildas. Genom att snabbt identifiera läckaget och avbryta gastillförseln kan härigenom en riskfylld situation undvikas.

Ur ovanstående genomgång framgår att gasläckagedetekteringssystem i första hand bör övervägas i omfattande gasinstallationer i stora utrymmen. Det är svårt att dra någon entydig gräns för begreppet "omfattande gasinstallation", varför man i tveksamma fall bör genomföra en riskanalys, för att bedöma effekterna av ett läckagedetekteringssystem. Parametrar som kan användas för att identifiera "omfattande gasinstallationer" är ansluten effekt (MW), servisledningens dimension ($\varnothing$ mm) samt leveranstryck (bar(ö)). Konsekvenserna vid en eventuell explosion är beroende av den omsatta explosionsenergin, vilken i sin tur är direkt proportionell mot den brännbara gasvolymen (utrymmets volym). Vid en innesluten explosion är det rimligt att förvänta sig en omfattande ödeläggelse av själva byggnaden. Effekterna på omgivningen är å andra sidan kraftigt beroende av den omsatta energimängden. I vissa fall kan installationen vara belägen i tätbebyggda områden där många människor normalt vistas. I sådana fall kan även begränsade explosioner leda till omfattande skadegörelse och risk för personskador. I tätbebyggda eller speciellt känsliga områden kan därför läckagedetekteringssystem övervägas också i mindre installationer.

I de fall där all utrustning i ett utrymme är EX-klassad är antändningsrisken väsentligt lägre än i normala utrymmen. Vid identifiering av kritiska gasinstallationer bör därför viss hänsyn tas till antalet potentiella antändningskällor. Erfarenhetsmässigt gäller dock att det finns ett mycket större antal antändningskällor än man normalt föreställer sig. Att helt avfärda behovet av säkerhetshöjande åtgärder, baserat på att antalet antändningskällor är litet, är därför fundamentalt felaktigt.

3.2 Detekteringsprinciper och inverkan av detektorernas placering

Valet av läckagedetekteringsmetod respektive placeringen av sensorer/mätinstrument har i vissa fall stor inverkan på känslighet och responstider. I detta avseende skiljer sig de olika mätprinciperna påtagligt.

Mekanisk detektering innebär i klartext att gastillförseln till anläggningen på något sätt kontinuerligt registreras. Vid en plötslig och omotiverad flödesförändring erhålls ett larm som sedan kan föranleda ytterligare åtgärder. Vid enkel flödesindikering uppmäts endast ingående gasflöde, vilket innebär att gasen i princip kan läcka ut utan att förbrännas. Ett sådant förhållande behöver inte nödvändigtvis leda till en flödesförändring varigenom larm kan utebli. Vid differensflödesmätning bildas en differens mellan levererad och konsumerad gasmängd varigenom differenser indikerar pågående gasläckage. Denna metod är väsentligt säkrare och har inte den fundamentala svaghet som enkel flödesindikering har. Mätprinciper som bygger på flödes- och tryckmätning kan således utformas så att de blir robusta med avseende på känslighet och responstid.

Känsligheten beror ytterst på onoggrannheten i mätningarna, vilken normalt inte bör vara större än någon procent av ingående flöde. Responstiden är avhängig, eventuella tryck- och flödestransienter i ledningssystemet samt av systemets egenförlägenhet. I fallet med turbinmätare består exempelvis instrumentets egenförlägenhet av accelerationstiden för turbinen samt av samplingsintervallet. Accelerationstiden uppgår normalt till några sekunder medan samlingsintervallet är beroende av mätaretyp.

Akustisk detektering bygger på det faktum att blåsljud uppstår vid läckage. Blåsljudets intensitet är beroende av läckagets storlek samt av trycket i ledningen. Ljudet kan registreras vid olika frekvenser, bl a i ultraljudområdet där det normalt inte förekommer störande buller från installationen i övrigt. Akustisk detektering används i många sammanhang då det gäller att lokalisera läckor i olika typer av processanläggningar. Detektorerna utgörs av mikrofoner som placeras i kontakt med installationen eller i utrymmet. Placeringen är i allmänhet inte så kritisk, eftersom ljudvågorna sprids ganska effektivt i utrymmet där utströmningen sker. Ljudet är inte selektivt beroende av utströmmande medium, vilket gör att larm kan erhållas även vid tryckluftsläckage eller friblåsning av ånga. Detta kan vara ett problem i vissa typer av gasinstallationer, t ex i kraftverk.

Valet av placering är av speciell betydelse då kemiska och/eller fysikaliska detektionsmetoder används. En gassensor skall generellt placeras i närheten av sådana punkter där gasläckage kan förväntas. Härigenom erhålls en snabb detektering vid ett inträffat gasläckage. I de fall gasdetekteringen är ospecifik, d v s att utslag erhålls för alla brännbara gaser, finns risk för obefogade larm vid läckage av t ex oljor. Det är inte möjligt att i detalj beskriva en lämplig placering av detektorer då denna kan variera betydligt från fall till fall beroende på utrymmenas utseende.

3.3 Känslighetsaspekter

För att ett läckagedetekteringssystem skall vara användbart gäller att känsligheten måste vara så hög att kritiska läckage snabbt kan identifieras. Om känsligheten är låg tar det i allmänhet väsentligt längre tid innan gasläckaget kan identifieras och stoppas.

Kravet på hög känslighet är fullt möjligt att uppfylla med samtliga de detekteringsprinciper som diskuterades i föregående avsnitt. Mekaniska metoder kan fås att reagera på volymflödesdifferenser på någon procent av tillfört flöde. Denna känslighet är oftast fullt tillräcklig för att identifiera sådana läckage som kan medföra risk för inneslutna explosioner.

Akustisk detektering kan användas för detektering av mycket små läckage, jfr t ex undersökningar utförda av Watanabe m fl där man lyckats identifiera och lokalisera knäppnålsstora hål i gasinstallationer [1]. I fallet med akustiska metoder kan den extremt höga känsligheten bli ett problem eftersom larm kan erhållas vid småläckage från andra system som innehåller gaser eller ånga under tryck.

Härigenom riskerar man således att nödstoppa anläggningen till följd av läckage av ofarliga gaser.

Det finns kemiska/fysikaliska metoder som kan detektera metan (och andra kolväten) i ppb-skala. Vid kritiska läckage nås snabbt metanhalter i utrymmet som är tusentals gånger större än denna detektionsgräns. En allmän trend är att instrument med hög känslighet också kräver ökade insatser vid drift och underhåll och således kan vara olämpliga av denna anledning. Konventionella gasvarnings-system har normalt en detektionsgräns som motsvarar 1 % av den nedre brännbarhetsgränsen (i fallet med metan ca 500 ppm). Med konventionella gasvarnings-system avses system som bygger på kalorimetri, halvledarteknik och elektro-kemiska metoder. Känsligheten hos konventionella gasvarningssystem är i allmänhet fullt tillräcklig.

Responstiden är en annan viktig faktor att ta hänsyn vid läckagedetektering. Även om känsligheten är extremt hög kan larmet fördröjas väsentligt genom detekteringssystemets egentröget. Minst känsliga för denna aspekt är mekaniska och akustiska metoder där larm normalt kan erhållas i sekundskala. För att uppnå så korta responstider krävs dock att flödesmätningen anpassas med avseende på bl a samplingsintervall. Vid mekanisk och akustisk detektering når påverkanssignalen (tryckvariationer, ljud) mätinstrumentet med ljudets hastighet. Vid kemisk/fysikalisk detektering når påverkanssignalen mätinstrumentet/detektorn via konvektion och/eller diffusion. Dessa båda transportprocesser är väsentligt långsammare och förlänger härigenom också responstiden betydligt. Det är därför viktigt att kemiska/fysikaliska detektorer placeras i anslutning till potentiella läckageställen. Förutom transporttrögheten tillkommer även instrumentets/detektorernas egentröghet, som i allmänhet ligger i intervallet 5-60 s.

3.4

Selektivitet

Med selektivitet avses instrumentets förmåga att specifikt ge utslag för utsläpp av en viss gas. Mekaniska metoder som applicerats på en viss gasinstallation ger naturligtvis selektivt utslag för läckage från denna.

Akustiska och kemiska/fysikaliska metoder kan i vissa fall ge utslag för andra utsläpp respektive störningar. Akustisk detektering är, som tidigare nämnts, känslig för alla typer av blåsljud som kan uppträda i samband med läckage från system som innehåller gaser under tryck. I större gasinstallationer, t ex i kraftverk, förekommer ofta trycklufts- och ångsystem, vilka kan generera störningar som leder till larm.

Kemiska/fysikaliska metoder kan vara såväl selektiva som oselektiva. Vissa detekteringsmetoder reagerar för alla typer av brännbara gaser medan andra specifikt kan identifiera t ex metan. Konventionella gasvarnare som bygger på katalytisk förbränning eller halvledarteknik reagerar för alla typer av brännbara gaser. I de fall kolväteutsläpp (t ex olja eller rengöringsmedel) kan förekomma i närheten av sådana detektorer finns risk för falsklarm.

3.5 Inverkan av miljöfaktorer

Detekteringsutrustningen påverkas av den miljö som den placeras i. I detta avseende torde kemisk/fysikalisk detektionsutrustning ha störst känslighet för föroreningar av olika slag, t ex stoft och korrosiva gaser. Det är därför viktigt att kontrollera vilka föroreningar som kan förekomma i utrymmet samt att klargöra om det finns risk för skadlig komponentpåverkan.

Förutom den kemiska och fysikaliska miljön förekommer i vissa anläggningar elektriska störningar som kan föranleda felfunktion i elektroniska system. Kartläggningen av miljöfaktorer måste således även innefatta elektriska och magnetiska fält.

3.6 Tillförlitlighetsaspekter

All teknisk apparatur kan felfunktionera, antingen beroende på plötsliga komponentfel eller, vilket sannolikt är vanligare, genom brister i skötsel och underhåll av apparaturen. Man måste vara medveten om de specifika skötsel- och underhållsbehov som aktuellt system kräver. Dessa behov kan variera kraftigt mellan olika system.

Om läckagedetekteringssystemet installeras i mindre anläggningar utan tillgång till egen instrumentkompetens bör man sträva efter att välja robusta system där underhållsbehovet är så litet som möjligt. Detta val kan dock leda till att detektorer med sämre tekniska prestanda måste väljas, vilket kan vara en nackdel. Om installationerna utförs i stora anläggningar där instrumentkompetens finns kan mer omfattande skötselbehov accepteras.

Under förutsättning att skötseln sker i enlighet med leverantörernas rekommendationer och om systemet har en lämplig uppbyggnad med avseende på logisk koppling av larmsignaler kan risken för fellarm och obefogade stopp begränsas till en fullt acceptabel nivå. Man måste för en viss installation klargöra hur stor frekvensen för obefogade stopp får bli. Med utgångspunkt från detta värde kan man sedan konstruera ett lämpligt system så att tillförlitlighetskraven uppfylls.

3.7 Underhållsfrågor

Underhållsbehovet är en mycket central fråga vid val av läckagedetekteringssystem. Det finns en utbredd oro för att läckagedetekteringssystem kan komma att kräva ett massivt underhåll för att vara funktionsdugligt. Vidare finns farhågan att insatsen av ett läckagedetekteringssystem kan inge en falsk trygghet hos personalen, den egna riskmedvetenheten avtrubbas beroende på att man vet att det finns ett säkerhetssystem.

Man kan härvid dra vissa paralleller med branddetekteringssystem. Det förekom säkert liknande invändningar då sådana system började implementeras, men i dagens läge är det säkert ingen som ifrågasätter nyttan med dessa. Precis som i fallet med gasläckagedetekteringssystem kräver branddetekteringssystem skötsel

och underhåll för att fungera på önskat sätt. Dessa åtgärder bedöms i allmänhet inte speciellt betungande, då man samtidigt beaktar vilka ekonomiska konsekvenser en storbrand kan få. Skillnaden mellan branddetekteringssystem och gasläckagedetekteringssystem är att det förstnämnda ofta krävs av brandmyndigheter och försäkringsbolag medan det sistnämnda ännu inte är föremål för någon reglering.

Det är rimligt att man accepterar ett underhållsbehov hos gasläckagedetekteringssystem som motsvarar det hos konventionella branddetekteringssystem. Eftersom läckagedetekteringssystem sannolikt främst kommer att förekomma i större anläggningar kan underhållet lämpligen ombesörjas av instrumentteknikern. I mindre installationer kan det bli aktuellt att teckna ett servicekontrakt med det företag som utfört installationen.

3.8

Kravspecifikation för upphandling av läckagedetekteringsutrustning

Som framgår ur ovanstående text, måste man ta hänsyn till en rad faktorer då man upphandlar ett gasläckagedetekteringssystem. Som underlag och checklista inför upphandling av läckagedetekteringssystem, kan följande underlag för kravspecifikation utnyttjas. I underlaget berörs faktorer som uppbyggnad, känslighet, utformning, systemsäkerhet, larmfunktioner, underhållsfrågor och hur väl tekniken beprövats.

Uppbyggnad

- Typ av detektor
- Påverkansfaktor, tryck, flöde, ljud, kemisk substans
- Krav på EX-klassning

Tekniska prestanda

- Krav på lägsta detektionsgräns
- Responstid till 90 % av utslag
- Återgångstid
- Selektivitet
- Nollvärdesstabilitet
- Mätvärdesdrift
- Åldringsfenomen

Utformning

- Vikt
- Form
- Material
- Mätskala
- Hållbarhet för yttre påverkan

Systemsäkerhet

- Strömförsörjningens uppbyggnad
- Störningskänslighet hos detektor, t ex radiostörningar
- Felmoder för detektorer
- Behov av fail safe-funktioner
- Tillförlitlighet, ökad sannolikhet för obefogade stopp
- Är knappar och reglage skyddade?

Larmfunktioner

- Typ av larm
- Antal larmnivåer
- Behov av kopplade säkerhetsfunktioner

Installation

- Anvisningar
- Provning

Underhållsfrågor

- Intervall för underhåll, service och kontroll
- Underhållsåtgärdernas omfattning och komplexitet
- Underhållskostnader
- Finns möjlighet att teckna serviceavtal?
- Reservdelsbehov
- Leveranstid för reservdelar
- Instruktionsbokens utseende

Referenser

- Exempel på företag som utnyttjar aktuella system

Standards

- Det finns en Europaanorm tillika svensk standard som är tillämplig i vissa fall:

Elektrisk utrustning för detektering och mätning av brännbara gaser - Allmänna fordringar och provningsmetoder (SS-EN50054)

Då det gäller systemuppbyggnaden gäller det i första hand att avgöra vilken detektionsprincip som är lämpligast i den aktuella installationen. Om flödesgivare av lämplig typ redan återfinns i installationen, bör självklart denna utnyttjas i läckagedetekteringssystemet. Eventuellt måste flödesgivaren kompletteras med ytterligare flödesgivare alternativt annan läckagedetekteringsutrustning, t ex akustisk eller kemisk/fysikalisk detektionsutrustning.

I installationer som saknar lämplig flödsmätning och där inga andra läckage än gasläckage kan förekomma kan akustisk detektering övervägas. Om läckage av t ex processluft och/eller ånga är möjlig bör läckagedetekteringen i stället byggas upp kring kemiska och/eller fysikaliska metoder, vilka är selektiva för gasläckage.

I vissa miljöer är utrustningen generellt EX-klassad eftersom man räknar med att utsläpp av brandfarliga komponenter kan ske i utrymmet. I sådana fall måste även läckagedetekteringsutrustningen vara EX-klassad.

Det finns en rad tekniska prestanda som är väsentliga att bedöma. Kravet på lägsta detektionsgräns är beroende av dimensionerande gasutsläpp, ventilationsförhållanden samt på utrymmets volym. Om förhållandena är sådana att gasfyllning av utrymmet kan ske snabbt, måste detektionsgränsen väljas lågt, eftersom gastillförseln måste kunna avbrytas tidigt under koncentrationsuppbyggnadsfasen. Om den maximala koncentrationsuppbyggnadshastigheten å andra sidan är låg kan okänsligare detektionsprinciper accepteras.

Responstiden (90 % av mätvärdet) bör nås snabbt, helst inom 30 s, vilket förefaller möjligt med de flesta detektionssystem. Generellt gäller att lägre känslighet kan accepteras då responstiden är kort. Om responstiden är kort undviks eftersläpningen mellan mätvärde och mätsignal. Återgångstiden är inte en så viktig parameter då detektorn skall användas för att identifiera gasläckage.

I de fall interferenser avseende påverkansfaktorer kan förekomma måste mätmetoder med större selektivitet väljas. Ett exempel är t ex om konventionella gasvarnare för brandfarliga gaser används i en lösningsmedelsbemängd miljö. I ett sådant fall kan utslag fås utan att brännbar gas läcker ut från gasinstallationen. Här gäller det således att tillse att detektorn reagerar selektivt för den utläckande gasen. I gasinstallationer är sannolikt akustisk detektering känsligast för störande interferenser, t ex från blåsljud från tryckluftsanläggningar.

Nollvärdesstabiliteten är ett mått på hur ofta blankprov och kalibrering av detektorerna måste ske. Generellt gäller att nollvärdesdriften måste vara så låg att blankprov endast behöver företas i samband med ordinarie översyn av läckagedetekteringssystemet. På motsvarande sätt gäller att mätvärdesdriften bör vara så låg som möjligt. Vid alltför hög mätvärdesdrift måste larmgränserna verifieras så ofta att arbetsmomentet kan uppfattas som betungande.

Vissa detektorer, speciellt elektrokemiska celler, förbrukas/åldras varigenom deras tekniska prestanda försämras kraftigt. Andra typer av detektorer (t ex katalytiska detektorer) kan utsättas för kemisk och termisk åldring. Utgångspunkten för bedömningen av detektorernas tekniska livslängd är en miljökartläggning av det utrymme som detektorn placeras i. Miljökartläggningen ger tillsammans med specifikationerna från leverantören underlag för preliminära livslängdsuppskattningar, vilka sedan måste verifieras genom periodiska inspektioner.

Bland utformningsaspekterna är hållbarheten mot yttre påverkan speciellt viktig. Detekteringssystemet kommer i många fall att vara placerad i processliknande industri varför den kan komma att utsättas för tämligen omfattande yttre påverkan.

Systemsäkerhetsaspekterna är av central betydelse vid val av detekteringssystem. Det gäller här bl a att kartlägga olika felmoder för detektorerna respektive störningskänsligheten för olika former av yttre påverkan. Ingående komponenters tillförlitlighet måste specificeras. För att uppnå en säker systemuppbyggnad är det också väsentligt att beakta kringssystemens utformning och uppbyggnad. Exempelvis bör elmatningen till detekteringssystemet vara redundant så att fel i kraftmatningen kan klaras. Vid komponentfel i detekteringssystemet måste meddelande om detta erhållas så att erforderliga underhållsåtgärder kan vidtas. Samtidigt gäller att komponentfel i läckagedetekteringssystemet inte får leda till obefogade driftstopp. Kalibreringsreglage och inställningsknappar måste vara skyddade mot obehörig, avsiktlig eller oavsiktlig, påverkan.

Olika typ av larm är möjliga, akustiska eller optiska. Vid akustiskt larm erhålls ett sirénjud medan läckaget markeras med blinkande varningslampa vid optiskt larm. Ofta kombineras båda larmtyperna i ett larmsystem. Generellt gäller att larmet måste vara tydligt och entydigt. Det skall alltså inte vara möjligt att förväxla larmet med andra larm från processen. I vissa installationer kan det visa sig lämpligt med två eller flera larmnivåer. Detta förfarande kan vara speciellt lämpligt om läckagedetekteringssystemet också kopplas till ett snabbstängnings-system för gasen. Larm erhålls då först vid en viss, låg gashalt, vilket indikerar att gas finns i utrymmet. Om gashalten i utrymmet stiger ytterligare stoppas gastillförseln och anläggningen nödstoppas.

Underhållsfrågorna är av stor betydelse då det gäller att välja ett lämpligt läckagedetekteringssystem för en gasinstallation. Man måste bedöma om de erforderliga underhållsinsatserna är rimliga i förhållande till personalens kompetens eller om speciella underhålls- och serviceavtal krävs. Underhålls-intervallerna bör vara relativt långt (månader) för att installationen inte skall kännas alltför betungande att sköta och underhålla. Det är också viktigt att undersöka hur lättillgängliga reservdelarna är, respektive vilka leveranstider som är aktuella. Slutligen bör dokumentering och instruktionsanvisningar granskas med avseende på tydlighet och fullständighet.

Det finns i dagens läge tusentals installationer av läckagedetekteringssystem i processkemisk industri. Det är därför relativt enkelt att hitta referensanläggningar där de system man tänker upphandla utnyttjas. Som en sista åtgärd innan upphandlingen bör kontakt tas med någon eller några av referensanläggningarna för erhålla praktiska aspekter avseende läckagedetekteringssystemet.

4 Metoder för läckagedetektering

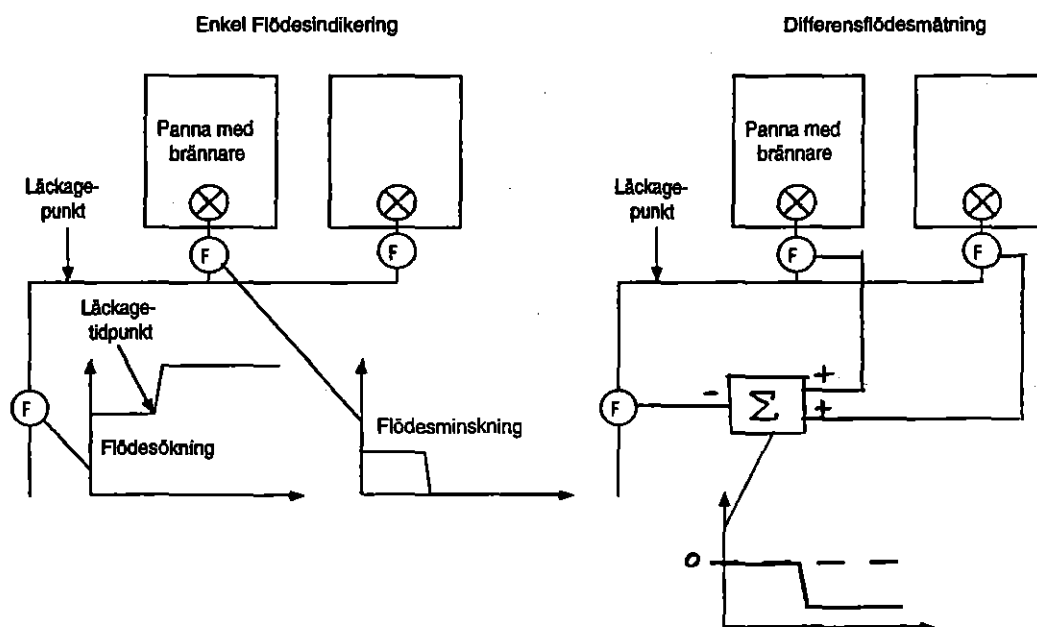
4.1 Mekaniska metoder

4.1.1 Flödesmätning

Läckagedetektering genom flödesmätning innebär, att man måste ha god kontroll över tillfört och konsumerat gasflöde i varje tidsögonblick. Avvikelse mellan tillfört och konsumerat flöde alternativt plötsliga och omotiverade flödesförändringar kan indikera gasläckage.

Olika typer av flödesmätare kan användas och de kan placeras på olika ställen i gasinstallationen. Flödesmätare av turbintyp har större driftområde och noggrannhet än sådana som baseras på tryckfallsmätning över mätfläns. I den fortsatta beskrivningen antas därför att turbinmätare utnyttjas i läckagedetekteringssystemet.

Nästa fråga att ta ställning till är om enkel flödesmätning eller differensflödesmätning skall utnyttjas. Vid enkel flödesmätning mäts gasflödet vid ingången till anläggningen alternativt vid varje förbrukningsställe. Stora gasläckage kan då identifieras genom plötsliga och omotiverade förändringar av gasflödet. Vid differensflödesmätning summeras gasflödena vid de olika förbrukningsställena och dras ifrån gasflödet vid ingången till anläggningen. En signifikant differens indikerar då att gasläckage förekommer i anläggningen. I figur 1 redovisas principerna för enkel flödesmätning respektive differensflödesmätning.



Figur 1 Enkel flödesmätning respektive differensflödesmätning

Differensflödesmätning är en säkrare metod än enkel flödesmätning, eftersom gasläckage teoretiskt kan pågå utan att totalflödet till anläggningen nödvändigtvis behöver påverkas. Vid differensflödesmätning erhålls larm, eftersom en differens uppstår mellan mottaget och konsumerat gasflöde. Om emellertid läckaget inte föranleder någon förändring i mottaget gasflöde, erhålls inget larm vid enkel flödesmätning.

Enligt uppgift från Sydgas AB, Euromekanik AB respektive Sydkraft Mätteknik AB, ligger det maximala mätfelet vid flödesmätning i turbinmätare på någon procent av mätområdet [2,3,4]. Härigenom är mätnoggrannheten således fullt tillräcklig för att man säkert skall kunna registrera den typ av läckage som kan leda till riskfyllda situationer.

Flödesmätarens responstid är avhängig gasinstallationens utseende samt om mätaren försetts med en låg- eller högfrekvensgivare. Normalt är det givarens karakteristik som främst begränsar responstiden. I normala installationer (industrier, processer etc) utnyttjas lågfrekvensgivare medan högfrekvensgivare främst installeras i M/R-stationer. Lågfrekvensgivaren ger normalt en mätpulss per kubikmeter gas, medan högfrekvensgivarna har pulsfrekvenser som är ca 1 000 gånger större. I ett läckagedetekteringssystem skall naturligtvis högtrycksgivare utnyttjas, eftersom man härigenom kan reducera responstiderna väsentligt, från minutskala till sekundskala.

Vid läckagedetekteringssystem som bygger på flödesmätning, undviks sådana responstidsfördröjningar som orsakas av konvektiv och diffusiv transport av gaser till givare. Läckagedetektering genom flödesmätning är vidare selektiv då interferenser med andra eventuella utsläpp i anläggningen kan undvikas.

Det förefaller inte existera några systematiska studier avseende turbinmätarnas felbenägenhet. Man kan dock, baserat på kontakter med Sydgas, Euromekanik och Sydkraft Mätteknik, konstatera att mätarnas felfrekvens praktiskt visat sig vara mycket låg, under förutsättning att underhåll och service sker på föreskrivet sätt. Sydkraft Mätteknik underhåller totalt ca 200 turbinmätare inom Sydgas distributionsområde. Mätarna har varit i drift i snart 10 år. Under denna tid har man haft några fall av felfunktion, vilka föranlett reparationsåtgärder. Med dessa data som bakgrund kan man dra slutsatsen att felfrekvensen inte bör överstiga intervallet 10^{-2} - 10^{-3} år⁻¹.

Vid felfunktion i en flödesmätare måste anläggningen stoppas, oberoende av om ett läckagedetekteringssystem installerats eller inte. Sannolikheten för samtidigt fel i läckagedetekteringssystemet och kritiskt gasläckage bedöms som försumbar i de flesta anläggningar, varför detta normalt inte behöver beaktas.

Ett läckagedetekteringssystem som bygger på flödesmätning kommer inte att kräva några mer omfattande underhållsinsatser utöver de som redan utförs på flödesmätarna. Personalen måste dock, som i fallet med alla nya system, utbildas avseende tekniska konstruktionsförutsättningar och handhavande.

Kostnaden för implementeringen av ett läckagedetekteringssystem av denna typ är självklart avhängig gasinstallationens utseende, vilket är avgörande för de kompletteringar som behöver genomföras. Förutom ombyggnad av befintliga gasmätare och installation av nya tillkommer kostnader för kraftmatning och signalbehandling. I de flesta fall torde systemimplementeringen vara relativt billig.

4.1.2 Tryckmätningar

Denna mätprincip består i att registrera plötsliga och omotiverade tryckförändringar i gasinstallationen. Ett läckage följs i regel av ett ökat massflöde, vilket i sin tur leder till ökade tryckfallsförluster och sjunkande trycknivåer i installationen.

Denna metod utgör en enkel men något mindre känslig metod för läckagedetektering. Vid lastförändringar förekommer normala tryckändringar i systemet och under den dynamiska delen av lastförändringen måste därför tryckövervakningen kopplas bort.

Metoden registrerar snabbt förändringar i flödesbilden i systemet, varför responstiden blir mycket kort. Precis som i fallet med flödesmätning kan ett differensförfarande utnyttjas där man bildar differens mellan två skilda mätpunkter. Om tryckdifferensen ändras då lasten är konstant, indikerar detta att flödesbilden har förändrats, vilket kan indikera ett gasläckage.

Metoden är främst lämplig i anläggningar där driftförhållandena är någorlunda stabila, t ex stora pannanläggningar. I de anläggningar där driften är intermittent och där stora transienter avseende gasflöde förekommer, är det förenat med svårigheter att utnyttja denna teknik.

Tillförlitligheten för flödesgivare är generellt mycket hög. Enligt T-boken kan man generellt räkna med en felfrekvens 10^{-2} år⁻¹ för såväl tryckgivare och trycktransmitter [5]. Eftersom miljön i gasanläggningar i allmänhet är ren bör inga miljöfaktorer förekomma som kan försämma dessa kärnkraftsrelaterade data.

Eftersom installation av ett nytt system i allmänhet erfordras (om inte lämpliga tryckgivare redan finns i gasinstallationen) ökas sannolikheten för obefogade stopp i viss utsträckning. Ökningen är dock marginell, beroende på den låga felfrekvensen hos läckagedetekteringssystemet.

Kostnaden för implementering av ett system av denna typ är liten i förhållande till andra metoder. De underhållsåtgärder som erfordras bedöms som små.

4.1.3 Material- och energibalansberäkningar

I detta fall jämförs tillförd bränsleenergi (MW) med den termiska effekt som erhålls vid förbränningen. Metoden bygger på att man har god kontroll, dels på tillförd gasmängd och dels på utvecklad termisk effekt. Den termiska trögheten i förbränningsutrustningen medför att mätningarna tar relativt lång tid och är tämligen osäkra.

Ett system av denna typ är utrustningsmässigt omfattande och kräver ett flertal olika givare i kombination med kraftmatnings-, signalbehandlings- och utvärderingsutrustning. Genom att systemet innehåller många komponenter kan man också förvänta sig en avsevärt högre felbenägenhet, vilket gör metoden mindre intressant.

Denna läckagedetekteringsmetod har egentligen inga fördelar jämfört med övriga nämnda mekaniska metoder. Den har lägre känslighet, längre responstid, större felbenägenhet samt medför höga implementeringskostnader. Material- och energibalansberäkningar är således ingen lämplig metod för läckagedetektering.

4.2 Akustisk detektering

Läckage från system under tryck medför att blåsljud uppkommer. Blåsljudets intensitet är beroende på läckageflöde och tryckförhållande. Intensiteten ökar då tryckförhållandet och/eller läckageflödet ökar. Det ljud som bildas innehåller ett brett spektrum av frekvenser, vilket medför att det är möjligt att särskilja blåsljudet från det buller som normalt förekommer i anläggningen.

Akustisk detektering används främst i situationer där man vill identifiera och lokalisera småläckage från ledningssystem för gastransmission och gasdistribution [jfr t ex 1, 6-11]. Enligt Watanabes undersökningar kan mycket små hål ($< \varnothing 1$ mm) lokaliseras med hjälp av akustiska metoder [1]. Detta är en stor fördel då det gäller att åtgärda läckage på nedgrävda ledningar där det annars kan vara svårt att företa grävningsarbetet på korrekt ställe. I Watanabes undersökningar har mikrofonerna placerats i rörledningarna, vilket ger en högre känslighet än om mikrofonerna placeras utanför ledningssystemet.

Enligt Bachelov m fl kan det ljud som alstras av ett läckage vara såväl kontinuerligt som intermittent [10]. Orsakerna till ljudets karakteristik är inte fullständigt klarlagd. Det yttre läckageljudets intensitet är framförallt beroende av utströmningshastigheten för gasen [6]. Utströmningshastigheten är i sin tur beroende av tryckförhållandet över läckagestället. Tryckberoendet är kraftigast vid underkritisk strömning men signifikant även vid överkritiska tryckförhållanden. Det läckageljud som å andra sidan registreras inne i ledningen uppvisar ett intensitetsmaximum som funktion av tryckförhållandet.

Läckageljudets frekvensband är brett och innefattar även frekvenser över ca 80 kHz, dvs i ultraljudsområdet där inget buller normalt förekommer. I motsats till ljudintensiteten uppvisar inte frekvensspektrumet något tydligt tryckberoende [6].

Ur artiklarna kan man dra slutsatsen att det är fullt möjligt att identifiera gasläckage på akustisk väg i gasinstallationer. I situationer där även andra medier förekommer under tryck, finns emellertid stor risk för störande interferenser. Exempel på detta är t ex de blåsljud som kan uppkomma från trycklufts- och ångsystem. Beroende på denna allvarliga selektivitetsbrist är det tveksamt om akustiska metoder kan utnyttjas i läckagedetekteringssystem som kopplas till larm- och säkerhetsfunktioner. Tekniken bör i stället tillämpas i situationer där man vill med stor noggrannhet vill kunna lokalisera läckage.

Systemets tillförlitlighet bedöms vara mycket hög, vilket också stöds av erfarenheter av Horigome m fl [7]. Ett akustiskt detekteringssystem består av ljudsensorer, signalbehandlingsutrustning samt datorbaserade utvärderingsmodeller.

Kostnaden för ett akustiskt detekteringssystem bedöms som relativt liten. Enligt J.E Huebler m fl uppgick kostnaden för ett bärbart akustiskt detekteringsinstrument 1985 till \$3000 - \$4000, vilket i dagens penningvärde skulle motsvara ca 50 000 SEK då hänsyn tas till prisindexförändringar [11]. Sannolikt har dock prisutvecklingen på mätinstrument och elektronisk utrustning varit svagare än den allmänna kostnadsökningen. I realiteten kan man därför förvänta sig att de instrument som förekommer på marknaden idag har bättre tekniska prestanda samtidigt som prisnivån har sjunkit i jämförelse med den allmänna prisnivån. Ett fast installerat akustiskt ljusdetekteringssystem kommer att vara något dyrare, eftersom fler mätpunkter eventuellt kommer att erfordras.

Akustisk detektering utgör, främst beroende på selektivitetsbristerna, inget förstahandsalternativ då det gäller läckagedetektering. Akustisk detektering bör i första hand användas för lokalisering av läckor i transmissions- och distributionsledningar

4.3 Kemisk/fysikalisk detektering

4.3.1 Konventionella gasvarnare

I konventionella gasvarningssystem utnyttjas oftast kalorimetri, halvledarteknik eller elektrokemiska metoder. Metoderna har olika för- och nackdelar, vilket gör att de är lämpliga i olika situationer och miljöer. I det följande ges en översiktlig beskrivning av de metoder som för närvarande utnyttjas inom dessa områden.

Inom ramen för IGUs verksamhet (kommitté B) pågår en kontinuerlig uppföljning av utvecklingen inom sensortekniken. I kommitté B3s rapport inför världsgaskonferensen i Berlin 1991 redovisades ett antal viktiga kriterier vid installation av sensorer för gasdetektering [12]. Kriterierna indelas i tre huvudgrupper enligt:

Teknisk prestanda

- Reproducerbarhet
- Noggrannhet
- Responstid

- Mätområde
- Selektivitet
- Temperaturberoende
- Inverkan av fukt

Tillförlitlighet

- Långtidsstabilitet
- Livslängd hos sensorer
- Motståndskraft mot kemisk förgiftning
- Inbyggd säkerhet vid felfunktion
- Driftsäkerhet

Övrigt

- Underhållsmässighet
- Prisbild
- Utrustningens kompakthet
- Strömförbrukning
- Kalibreringsfrågor

I samma rapport beskrivs principerna för ett stort antal olika typer av sensorer: potentiometriska sensorer, galvaniska sensorer, elektrolytiska celler, treelektrod-sensorer, konduktometriska sensorer, organiska halvledare, kemiska fälteffekt-transistorer, dielektriska sensorer, termiska sensorer, TCD-sensorer, katalytiska sensorer, masssensorer, optiska sensorer samt biosensorer. Vissa av sensortyperna är välutvecklade och har använts i gasdetekteringssammanhang under ett stort antal år medan andra fortfarande befinner sig på utvecklingsstadiet.

I potentiometriska celler mäts den potentialskillnad som uppstår över ett membran som står i kontakt med referensgas på ena sidan och mätgas på andra sidan. Membranet tillåter transport av vissa joner och potentialdifferensen är beroende av koncentrationsskillnaden mellan membranets båda sidor. Potentiometriska celler kan användas vid kontinuerlig drift och kräver inga speciella kringarrangemang. Responsen är logaritmiskt beroende av koncentrationsdifferensen och responstiden är relativt liten beroende på de små masstransportbegränsningarna i cellen. Potentiometriska celler kan utnyttjas vid kvantitativ analys av vissa gaskomponenter.

I galvaniska celler produceras ström genom kemisk reaktion mellan molekyler i gasfasen och ett reagens på elektroden. Vid den kemiska reaktionen sker vandring av joner i elektrolyten samtidigt som elektroner transporteras i en yttre strömkrets. Strömmen i den yttre kretsen är ett mått på koncentrationen av den gaskomponent man vill mäta. Galvaniska sensorer existerar för ett stort antal olika reducerande gaser och kännetecknas av stabil drift och linjär respons. En nackdel är att de kemiska reaktionerna är starkt masstransportbegränsade, vilket leder till relativt långa responstider.

I amperometrisk celler underhålls de elektrokemiska reaktionerna av en konstant spänning som läggs över cellen. Den ström som uppstår genom elektrolysprocessen uppmäts och utgör ett mått på gaskoncentrationen. Precis som i fallet med galvaniska celler finns amperometrisk celler för ett stort antal olika gaser. Fördelarna med amperometrisk celler är att de har lång livslängd och kan utnyttjas inom ett brett koncentrationsområde.

Trelektrodcellen utgör en vidareutveckling av ovan nämnda tvåelektrodceller och innehåller en referenselektrod, varigenom man kan kompensera för de mätfel som annars uppstår till följd av polarisationsfenomen vid elektroderna. Trelektrodcellerna har bättre linjaritet samt ett större mätområde än tvåelektrodcellerna.

Konduktometrisk celler bygger på halvledarteknik och principen att ledningsförmågan hos vissa metalloxider förändras då vissa gaser absorberas i metall-oxidgittret. Metalloxiden baseras i allmänhet på tennoxid men även andra komponenter, t ex zinkoxid, förekommer. Halvledarelementet består av en metalloxidkropp som försetts med två metalliska elektroder, oftast av platina/iridium. Metalloxidkroppen upphettas resistivt och vid förhöjda temperaturer ökas metalloxidens ledningsförmåga avsevärt av närvaron av vissa gaser. Genom att dopa metalloxiden med olika ämnen kan selektiviteten mot olika föreningar, t ex metan, ökas väsentligt. Halvledarsensorer har en omfattande användning inom gasindustrin, t ex vid läckagedetektering, kolmonoxidkontroll och branddetektering. I dagens läge marknadsförs sensorer med detektionsgränser kring 500 ppm. En nackdel med denna typ av celler är att selektiviteten är tämligen låg, åtskilliga interferenser existerar. A. M. Azad m fl beskriver i en omfattande review-artikel egenskaperna hos olika halvledarsensorer [13]. Man konkluderar här att de mekanismer som leder till gasdetektering i många fall fortfarande är delvis okända. Problemen består främst i den bristande selektiviteten i dessa mätmetoder, men utvecklingen gör att nya, avsevärt bättre sensorer, snart bör kunna lanseras. Utvecklingen inom området har medfört en successiv ökning av känsligheten för dessa sensorer. Man har på olika forskningsinstitutioner lyckats framställa halvledarsensorer med ca 100 gånger högre känslighet än de som f n finns på marknaden [se t ex 14].

Det pågår för närvarande ett intensivt arbete med att utveckla organiska halvledare, vilka förutspås ha en väsentligt högre känslighet än konventionella halvledarsensorer. Detektionsgränsen rapporteras kunna bli så låg som 1 ppb.

En kemisk fälteffekttransistor fungerar som en konventionell transistor där materialet i basen ersatts av ett gaskänsligt ämne. I fallet med vätgasdetektering utgörs basen av palladium. Denna typ av sensorer har ännu inte kommersialiserats, utan befinner sig på produktutvecklingstadiet. Fördelarna med denna typ av sensorer är att responstiden är relativt kort (ca 10 s) samtidigt som känsligheten är hög (detektionsgräns kring 1 ppm).

Dielektriska sensorer bygger på att de dielektriska egenskaperna hos ett material förändras då polära molekyler adsorberas. Eftersom metan inte har något permanent dipolmoment är känsligheten för denna molekyl låg, varför tekniken knappast kan få någon tillämpning vid läckagedetektering i naturgassammanhang.

I TCD-detektorer registreras skillnader i värmeledningsförmåga mellan provgasen och en referensgas. Tekniken används frekvent i konventionella detektorer i gaskromatografisammanhang. Ett problem med denna typ av sensor är att den är ospecifik och ger utslag för många olika gaser.

Den vanligaste typen av sensor för att detektera brännbara gaser baseras på katalytisk förbränning. En katalytisk sensor består av platinatrådar som placerats i en elektrisk brygga. En av trådarna har försetts med ett katalytiskt aktivt material. Platinatrådarna värms resistivt till drygt 400 °C för att säkerställa katalytisk förbränning i närvaro av brännbara gaser. En galvanometer har placerats i bryggan för att registrera eventuella resistansförändringar i den katalytiskt belagda tråden. Då brännbar gas är närvarande sker en temperaturökning i den katalytiskt belagda tråden, varigenom trådens resistans förändras. Resistansförändringen leder till en snedbelastning av bryggan, varvid utslag erhålls på galvanometern. Detektionsgränsen ligger på samma nivå som i fallet med halvledarceller, d v s på några hundra ppm. Sensorn kan förstöras genom termisk och/eller kemisk delaktivering av det katalytiskt aktiva materialet.

En massensor är uppbyggd kring en piezoelektrisk kristall på vilken akustiska fenomen uppkommer i samband med adsorption av en gas. Den piezoelektriska kristallen, oftast kvarts, är inte selektiv för någon speciell gas. Om kristallen emellertid förses med ett selektivt lager kan arrangemanget fås gasspecifikt. Olika principer för utvärdering av mätsignalen kan utnyttjas. Massdetektorer finns i dag kommersiellt tillgängliga för mätning av vattenhalten i luft. I framtiden räknar man med att sensorer skall kunna kommersialiseras, även för andra gaser. Massensorer har mycket hög känslighet, vilket är en stor fördel i vissa tillämpningar.

En genomgång av möjligheterna med optiska sensorer ges i följande kapitel och behandlas därför inte här.

Biosensorer kommer sannolikt endast att få en marginell tillämpning inom gasindustrin, t ex för mätning av halten monoetylenglykol i gas. De huvudsakliga applikationsområdena för biosensorer är inom medicin och bioteknik.

Slutsatsen av ovanstående inventering avseende sensorer för gasdetektering är att man i dagens läge främst är hänvisad till metoder som bygger på katalytisk förbränning och halvledarteknik. De sensorer som finns på marknaden har i allmänhet tillräcklig känslighet för de flesta applikationer. Selektivitetsbristen kan emellertid medföra problem i vissa applikationer där andra brännbara komponenter (t ex lösningsmedel) samtidigt kan förekomma. Den långa responstiden är

ett annat generellt problem med vissa av de redovisade detektorerna. Tillförlitligheten för sensorerna varierar från fall till fall. I allmänhet kräver gassensorer kontroll, kalibrering och service med viss periodicitet. Under förutsättning att skötsel och underhåll sköts på föreskrivet sätt kan de tillförlitlighetskrav som ställs på läckagedetekteringssystemet uppfyllas i de flesta fall. Om extrem tillförlitlighet krävs i en installation, måste sofistikerad koppling av detektorerna tillgripas, alternativt parallella läckagedetekteringssystem, som bygger på andra detektionsprinciper, installeras. En fördel med gassensorer är att kostnaden per mätpunkt begränsas till några tusen SEK. Förutom själva sensorerna krävs kringssystem i form av kablage för kraftmatning och signaler samt en centralenhet. Kostnaden för centralenheten är avhängig hur sofistikerat system som väljs, men bör normalt kunna begränsas till några hundratusen SEK. Kostnaden räknat per mätpunkt sjunker således kraftigt då antalet sensorer utökas.

Beroende på de tidsfördröjningar som uppstår till följd av transportprocesserna av utläckande gas till sensorerna är placeringen av dessa av vital betydelse för detekteringsanläggningens prestanda. Normalt skall man eftersträva att placera detektorerna i anslutning till de ställen där läckage kan förväntas. En annan möjlighet är att placera detektorerna nära ventilationsutflöden, varigenom stagnanta betingelser undviks. Som utgångspunkt för placeringen av sensorer bör gasspridningsanalyser utföras, antingen praktiskt eller genom teoretisk fluiddynamisk utsläppssimulering.

4.3.2

Fysikaliska metoder

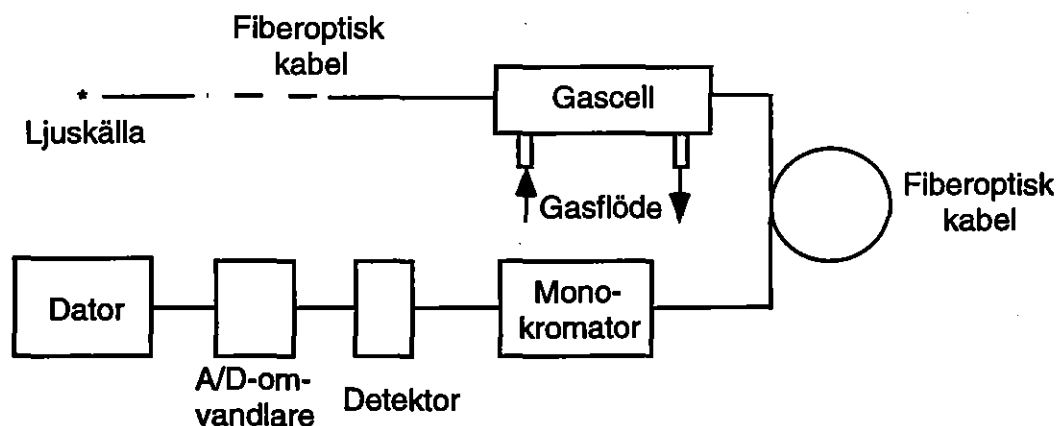
Med fysikaliska metoder avses olika optiska metoder, som bygger på utläckande gas förmåga att absorbera ljus av olika våglängd. Gasen kan sedan detekteras, antingen genom sitt absorptionsspektrum eller genom att ljuset stimulerar gasmolekylerna att växelverka kemiskt eller fysikaliskt med något annat ämne i systemet.

Den vanligaste metoden bygger på spektral absorption, d v s att gasen absorberar ljusstrålning av en viss, karakteristisk våglängd. Genom att man utnyttjar optiska filter kan ljusstrålningens våglängd anpassas till gasens ljusabsorptionsegenskaper med god noggrannhet. Vissa gaser har unika absorptionsband varigenom såväl känslighet som selektivitet blir hög. Andra gasers (t ex metan) absorptionsband är mer ospecifika och ligger i våglängdsområden där många interferenser existerar. Härigenom påverkas såväl känslighet som selektivitet negativt.

Känslighets- och selektivetsproblemen skulle kunna lösas genom att s k linjeabsorptionsteknik utnyttjas. Med detta avses att det ljus som utnyttjas vid detekteringen är koncentrerad till en eller några specifika våglängder, vilka korresponderar mot gasens absorptionsspektrum. För att kunna åstadkomma denna typ av ljus krävs emellertid speciella lampor alternativt avancerade monokromatorer. Denna teknik kan därför f n inte användas i instrument för läckageövervakning. En möjlig metod för att åstadkomma den typ av ljus som krävs vid linjeabsorption är laserteknik. Inom de närmaste åren kommer halvledarlasertekniken sannolikt att revolutionera möjligheterna.

En annan variant av spektral absorption är fotoakustisk detektering (PAS). I detta fall får ljustrålen passera genom gasprovet varvid ljusabsorption leder till temperatur- och tryckökning i gasvolymen. Om ljuset är intermittent erhålls tryckvågor som får karaktären av ljudvågor, vilka kan registreras av en mikrofon. Under ideella förhållande (i frånvaro av interferenser) är känsligheten mycket hög och gashalter så låga som 1 ppb kan detekteras. I realiteten begränsas dock känsligheten av överlappningsfenomen mellan olika gasers absorptionsband. Enligt Brüel & Kjaer, som tillverkar denna typ av instrument, kan man dock uppnå känsligheter på <1 ppm för många komponenter [15]. Instrument som bygger på PAS finns i dagens läge kommersiellt tillgängliga. Själva instrumentet kostar i storleksordningen 150.000 SEK (för mätning av en gaskomponent). Till denna kostnad kommer sedan system för provsampling och eventuella säkerhetssystem som kopplas till instrumentet. Samplings- och säkerhetssystemets utseende kan variera mycket från fall till fall och kan därför inte preciseras närmare här.

Under de senaste åren har fiberoptiska metoder börjat utnyttjas för metandetektering [16, 17]. I detta fall utnyttjas ett högspecifikt filter för att selektera de våglängder som utnyttjas vid mätningarna, jfr figur 2. Som ljuskälla kan antingen lysdioder eller laserdioder utnyttjas. Enligt Dakin m fl kan känsligheter på ca 500 ppm (1 % av undre explosionsgränsen för metan i luft) uppnås vid fiberlängder på flera km [16]. Detta resultat stöds också av de experiment som utförts av Kinpui m fl [17].



Figur 2 Princip för fiberoptisk detektion av metan

Den nämnda tekniken bedöms få stor tillämpning i omfattande gasdistributions-system där stora sträckor måste övervakas. Det är också möjligt att utnyttja denna metodik i omfattande gasinstallationer för att åstadkomma en decentraliserad gasdetektering. För att tekniken skall kunna få ett kommersiellt genombrott krävs dock viss utveckling och prestandaförbättring då det gäller ljuskällor och optiska filter.

Det pågår också utveckling av metoder som bygger på ljusreflexion i skikt som undergår kemiska eller fysikaliska förändringar då olika gaser adsorberas. Den reflekterade ljussignalen egenskaper skiljer sig från den infallande ljussignalens och skillnaderna kan utnyttjas för att identifiera och kvantifiera olika gaskomponenter. Dessa metoder befinner sig för närvarande på produktutvecklingsstadiet men bedöms kunna uppnå såväl hög känslighet som selektivitet.

Generellt gäller att de optiska metoderna har högre känslighet och selektivitet än huvuddelen av de metoder som behandlades i föregående kapitel. Selektiviteten kan i vissa fall vara ett problem eftersom många interferenser förekommer i absorptionsspektrumet. De optiska instrumentens egentröghet är liten (några sekunder), varför responstiden blir kort. Optiska system är till sin tekniska uppbyggnad mer sofistikerade och kräver härigenom mer underhåll och service för att fungera på avsett sätt. Optiska system innehåller också rörliga delar i högre utsträckning (pumpar, ventiler och roterande skivor), vilket torde öka felbenägenheten något. Prismässigt hamnar man i samma storleksordning som i fallet med konventionella gasdetektionssystem. Det är tveksamt om den ökade känslighet och selektivitet som kan uppnås med optiska instrument kompenseras för det ökade underhållsbehovet. Härigenom bör konventionella gasvarningssystem väljas i de fall man inte är hänvisad till extrem känslighet beroende på gasinstallationens/utrymmets utseende.

4.3.3

Kemiska metoder

Med kemiska metoder avses här de situationer, där utläckande gas kan identifieras och kvantifieras med kromatografiska metoder. Ett kromatografiskt system består i princip av två delar, en del som separerar de komponenter som skall analyseras och en del där detektion sker. Genom val av lämpligt kolonnmaterial i separationsdelen är det fullt möjligt att helt separera metan från andra interfererande substanser. Detektortypen avgör sedan hur hög känslighet som kan uppnås. Lägst känslighet har TCD-detektorer, som tidigare beskrivits. I fallet med metan kan detektionsgränser på några ppm uppnås med TCD-detektorer under förutsättning att sofistikerade detektorer med liten dödvolum utnyttjas. Ännu högre känslighet kan uppnås med flamjonisationsdetektorer eller fotojonisationsdetektorer där laddade molekyler uppstår genom termisk jonisation eller fotojonisation. Dessa laddade molekyler fångas sedan upp på en elektrod, varvid en detekterbar ström uppstår. I fallet jonisationsdetektorer kan känsligheter i ppb-nivå uppnås.

Det förekommer andra, ännu känsligare, detektorer t ex Electron Capture Detector (ECD-detektorer), vilka är känsliga för vissa elektronegativa grundämnen. Dessa detektorer kan inte utnyttjas för att detektera metan, men väl för att detektera vissa föroreningar och tillsatser, som kan förekomma i naturgas. Man skulle i princip lokalt kunna tillsätta spårsubstanter till naturgasen. Vid gasläckage skulle då naturgas kontaminerad med spårsubstanten strömma ut varvid detektion skulle vara möjlig. Detta förfarande är dock relativt komplicerat och kräver såväl fungerande doseringsapparat som fungerande analysinstrumentering. Generellt gäller att gaskromatografiska metoder är mer lämpade för laboratoriebruk än som övervakningssystem. Instrumenten kräver relativt omfattande åtgärder i form av service och underhåll. Vidare innehåller instrumenten rörliga delar samt kräver för sin drift kontinuerlig tillförsel av olika gaser. Jonisationsdetektorer utnyttjas ofta för att identifiera och kvantifiera totalkolvätehalten i t ex förbränningsgaser. I sådana fall används detektorn utan separationsdelen, vilket gör att detektionsprincipen blir oselektiv (reagerar för alla kolväten). Kostnadsmässigt gäller att ett läckagedetekteringssystem som bygger på kromatografiska metoder kommer att kosta drygt 100 000 SEK. Till denna kostnad kommer sedan kostnader för eventuella provtagningssystem och säkerhetssystem. Utformningen av dessa är emellertid så anläggningsspecifik, att de inte kan beskrivas i en generisk studie av denna typ.

Sammanfattningsvis utgör kemiska metoder baserade på kromatografi selektiva och känsliga metoder för gasdetektering. Systemen kräver dock relativt mycket underhåll och service, vilket minskar deras användbarhet i automatiska läckagedetekteringssystem.

4.4

Slutsatser

Baserat på ovanstående genomgång kan egenskaperna hos de respektive metoderna konkluderas på följande sätt.

Flödesmätning

Denna mätmetod reagerar selektivt för störningar i gasflödet varvid responstiden vid stora läckage ligger i sekundskala (högfrequensgivare). Den absoluta mät-
onoggrannheten uppgår till ca 1 % av mätområdet, vilket medför att kritiska läckageflöden med lätthet kan detekteras vid differensmätning (jämförelse mellan levererat och konsumerat gasflöde). Läckagedetekteringssystemet måste kopplas bort under laständringarnas dynamiska fas, d v s under den tid som nya trycknivåer etableras i systemet. Flödesmätare finns redan i de flesta större gasinstallationer, varför implementeringen består i komplettering, alternativt ombyggnad av vissa flödesmätare, vilket i de flesta fall torde vara relativt billigt. Dessutom krävs en elektronisk krets för utvärdering av mätsignalerna samt ett eventuellt säkerhetssystem. Praktisk erfarenhet har visat att flödesmätarnas tillförlitlighet är mycket hög, varigenom frekvensen för obefogade stopp endast påverkas marginellt.

Dessutom gäller att felfunktion i flödesmätare redan i dagens läge föranleder stopp av anläggningen. En ytterligare positiv aspekt är att denna typ av läckagedetektering inte föranleder några nya omfattande underhållsåtgärder.

Tryckmätningar

Läckagedetektering som bygger på tryckmätningar består av ett tekniskt okomplicerat system. Signalen kan förväntas vara något svajig, beroende på mindre tryckvariationer i systemet. Detta kan dock åtgärdas genom att man utnyttjar en kontinuerlig medelvärdesbildning av signalen. Plötsliga förändringar som inte föranleds av laständringar kan indikera gasläckage.

Metoden är snabb och en signifikant signal erhålls i sekundsкала vid kritiska läckageflöden. Systemet är billigt att installera och det tillkommande underhållet är marginellt. Tryckgivare har generellt mycket hög tillförlitlighet, varför sannolikheten för obefogade stopp endast påverkas marginellt.

Material- och energibalansberäkningar

Denna metod, är beroende på ett flertal svagheter, inte intressant. Bland de dominerande svagheterna kan följande nämnas:

- Stor tröghet
- Bristfällig noggrannhet
- Tämigen omfattande kompletteringar i mätsystemet krävs
- Ökade underhållsinsatser erfordras
- Tillförlitligheten minskar beroende på ökad komplexitet

Akustisk detektering

Den stora fördelen med denna detektionsprincip är att känsligheten är mycket hög, det är t o m möjligt att identifiera knappnålsstora hål i gasinstallationer. Resonstiden är kort, eftersom påverkanssignalen sprider sig i rummet med ljudets hastighet. Mätprincipen har, enligt ett flertal referenser, hög tillförlitlighet samtidigt som investeringskostnaden är låg. Det krävs inga omfattande underhållsinsatser, vilket är en stor fördel i många miljöer. Den allvarligaste invändningen mot akustisk detektering, är att metoden inte förmår särskilja gasläckage från sådana blåsljud, som uppkommer vid tryckluftsstötar, alternativt vid ångläckage. Beroende på denna begränsning lämpar sig akustisk detektering inte i stationära gasläckagedetekteringssystem. Metoden är dock mycket användbar då det gäller att identifiera läckage på långa, nedgrävda, ledningar. I sådana sammanhang utnyttjas bärbara instrument.

Konventionella gasvarnare

Den tekniska prestandan varierar betydligt mellan de sensortyper som förekommer. I sammanhang där man avser detektera utläckande metan, bör sensorer som baseras på katalytisk förbränning alternativt halvledarteknik utnyttjas. Dessa sensorers känslighet är fullt tillräcklig i läckagedetekteringssammanhang och ligger på ca 1 % av den nedre brännbarhetsgränsen. Det förekommer selektivitetsproblem även om de inte är så uttalade som i fallet med akustisk detektering.

Interferenser kan i princip uppkomma med samtliga brännbara kolväten. Oljespill och mindre utsläpp av lösningsmedel torde inte utgöra något problem om inte utsläppet sker i direkt anslutning till sensorn. Det allvarligaste problemet är i stället den relativt långa responstiden. Dels måste gasen transporteras till sensorn via konvektion och diffusion och sedan måste sensorn påverkas kemiskt/fysikaliskt. Responstiden kan därför bli uppemot en minut, vilket kan medföra problem i vissa fall. De tillförlitlighetskrav som ställs med utgångspunkt från risken för obefogade stopp kan uppfyllas genom lämplig logisk koppling av signalerna från olika sensorer. Driften av läckagedetekteringssystemet kräver underhålls- och serviceinsatser med viss periodicitet. Man kan jämföra driften av ett läckagedetekteringssystem med driften av ett branddetekteringssystem. Underhålls-åtgärderna består främst i att kontrollera och verifiera funktionen hos de olika sensorerna samt att byta dessa vid behov. Sensorernas egenskaper kan försämrats vid närvaro av vissa föroreningar som svavel och kisel. Investeringskostnaden räknat per detektionspunkt sjunker kraftigt, då antalet ökas. Marginalkostnaden för en detektionspunkt ligger på några tusen SEK.

Fysikaliska metoder

Dessa metoder bygger på växelverkan mellan ljus och den substans som skall detekteras och medger i allmänhet en god känslighet och en någorlunda god selektivitet. Responstiden består av transportfördröjning fram till analysinstrumentet medan själva instrumentets egenfördröjning är mycket liten. Optiska analysmetoder av denna typ uppvisar generellt hög tillförlitlighet, men kräver ökade underhålls- och serviceåtgärder i form av kalibrering och nollvärdesjustering etc. Själva analysinstrumentet kostar ca 150.000 SEK, men sedan tillkommer provtagningsutrustning och eventuella säkerhetssystem, vilka är anläggningsspecifika. Optiska metoder är inget förstahandsalternativ vid läckagedetektering utan bör endast användas i fall där mycket hög känslighet erfordras.

Kemiska metoder

Kemiska metoder möjliggör hög känslighet och selektivitet. Responstiden är relativt lång beroende på transport- och analysfördröjningar. Den allvarligaste invändningen är att skötsel och underhåll av denna typ av instrumentering är relativt komplicerad varför specialutbildad personal kan erfordras.

Slutsatser

Slutsatsen av metodinventeringen är att mekaniska metoder primärt bör utnyttjas, eventuellt kompletterat med ett konventionellt gasvarningssystem. Snabbavstängning av gasen kan ske om man erhåller samtidig signal från det mekaniska systemet och gasvarningssystemet. Enkel signal från ett gasvarningssystem bör endast föranleda larm.

5 Kontakter med leverantörer av detekteringsutrustning

5.1 Produktinformation och tekniska prestanda

För att undersöka vilka läckagedetekteringssystem som finns på marknaden har kontakt tagits med ett stort antal leverantörer och representanter. Marknadsinventeringen har inriktats på gassensorer, eftersom flödes- och tryckgivare får anses representera konventionell och välkänd teknik i gasinstallations-sammanhang.

Generellt kan man notera att samma detektionsprinciper genomgående används. Instrumentens utformning och prestanda kan dock variera i viss utsträckning mellan olika leverantörer. Följande leverantörer har kontaktats:

- Acal Auriema AB
- Bergman & Bewing Process AB
- Boo Instrument AB
- Brüel & Kjaer, Sverige AB
- Consilium Systems AB
- Kontram Sweden
- Karlbom AB, ingenjörsfirma
- Marineagent AB
- Siemens, Svenska AB
- Tegma, AB

Det existerar ytterligare ett stort antal leverantörer av gaslarm, men ovanstående företag ger en heltäckande bild av de instrumenttyper som finns på marknaden.

Acal Auriema representerar Crowcon Detection Instruments, som är en av Europas ledande tillverkare av gasvarnare för giftiga och brännbara gaser. Crowcon tillverkar både portabla och stationära gasvarnare. Crowcon utnyttjar ett flertal tekniker i sina sensorer, katalytisk förbränning, TCD-teknik, halvledar-teknik, elektrokemiska celler samt infrarödteknik [19].

Bland de stationära gasvarningssystemen finns olika alternativ, anpassade för olika tillämpningar och lokaltyper. Det enklaste systemet, Gasmaster, innehåller upp till fyra separata kanaler för anslutning till detektorer. Varje kanal har två justerbara larmgränser, lågt och högt larm. Vidare finns möjligheten att utföra en trendanalys av påverkanssignalen före larm. Detta kan t ex utnyttjas vid gasläckage då påverkanssignalen monotont ökar under koncentrations-uppbyggnadsfasen.

Gaswarden utgör ett utökat system jämfört med Gasmaster och kan utnyttjas i större installationer. Gaswarden har förberetts för upp till tio kanaler. Även i detta fall har varje kanal två justerbara larmgränser.

Ditech utgör det mest avancerade systemet och kan utrustas med kanaler för såväl brand- som gasövervakning. Det är också möjligt att i detta system implementera elektronikkort som utför avancerad logisk signalbehandling, t ex för att öka tillförlitligheten.

I samtliga ovan nämnda larmsystem utnyttjas katalytiska sensorer för gas-detektion (DI9, DI)/K eller DI5/6). I sensorerna utnyttjas förgiftningsresistenta katalytiska beläggningar, vilket ökar hållbarheten väsentligt. Sensorernas egenträghet uppgår till ca 10 s och detektionsområdet ligger mellan 1 och 100 % av den undre explosionsgränsen. Sensorerna kan användas inom ett stort temperatur- och luftfuktighetsområde, -20 - 80 °C respektive 0-99 % RH (ej kondenserande). Sensorernas marginalkostnad uppgår till några tusen SEK per mätpunkt. Kostnaden för centralenheten kan variera kraftigt beroende på systemets utformning och omfattning, från några tiotusentals SEK upp till flera hundra tusen SEK. Det är därför omöjligt att redovisa detaljerade prisnivåer i en översiktlig studie av denna typ.

Bergman & Bewing Process AB säljer gasvarningsanläggningar tillverkade av ICARE, Frankrike [18]. Precis som i fallet med Acal Auriema säljer detta företag såväl bärbara som stationära gasvarningssystem. SX2020 är en transmitter/detektor avsedd för detektering av brandfarliga gaser såsom vätgas, metan, propan m fl. Detektorerna kopplas normalt ihop med en central övervakningsenhet där fem detektorer kan anslutas per krets. Totalt kan upp till 100 kretsar anslutas till övervakningsenheten. Övervakningsenheten kontrollerar samtliga kretsar och ger centrala larm, rapportering av systemets tillstånd samt indikerar status av vald krets i den inbyggda displayen. Varje enskild krets är dock helt fristående från övervakningsenheten och fungerar även under avbrott i mikrodatorns funktion. Detektionsprincipen bygger även i detta fall på katalytisk förbränning. Sensorn är skyddad mot termisk sintring genom att matningsspänningen till detektor kopplas bort då gaskoncentrationen överstiger 130 % av mätområdet. Sensorns mätområde ligger inom 0- 100 % av den undre brännbarhetsgränsen (LEL) med en mätnoggrannhet av ± 3 % av LEL. Responstiden till 50 % utslag är ca 5 s och sensorn kan användas i temperaturområdet -10 - 50 °C.

Boo Instrument AB saluför system utvecklade hos Monicon Technology Ltd, Irland. MC500 är ett flerkanals varningssystem för brännbara/explosiva gaser, avsett för katalytiska sensorer [22]. Halten av brännbar gas indikeras på ett analogt visarinstrument, graderad i området 0-100 % av undre brännbarhetsgränsen. Om någon av de två inställbara larmnivåerna överskrids, aktiveras tillhörande visuella larm samtidigt som reläkontakter slår om. Arbetstemperaturen för systemet ligger mellan -18 och 66 °C medan luftfuktigheter i området 20-90 % RH kan tillåtas. Responstiden för gassensorn (till 90 % av utslaget) ligger på ca 30 s, vilket är något längre än för de andra beskrivna fabrikaten.

Salwico Consilums gasvarningssystem baseras på halvledarsensorer som tillverkats av japanska Figaro Engineering, som är störst i världen på detta område. Enligt leverantören karakteriseras halvledarsensorerna av sin stabila nollpunkt och lång livslängd [24]. De är vidare tåliga mot miljöpåverkan och visar god motståndskraft mot gasförgiftning vid kraftig exponering. De har vidare stor resistens mot silikonföreningar från tätningsmedel och oljor. Kalibreringsbehovet påstås vara lägre än i fallet med katalytiska sensorer, vilket medför att underhållskostnaderna kan reduceras väsentligt.

Varje sensor betjänas av en linjeenhet som jämför sensorns signal med den inställda larmnivån. Om nivån överskrids utgår signaler till larm och eventuella styrningar, t ex brytning av el och gastillförsel samt start av ventilation. Linjeenheterna placeras i centraler som kan ha olika storlek beroende på larmanläggningens omfattning.

Marineagent AB säljer stationära gaslarmsanläggningar som tillverkas av tyska Winter GmbH. Precis som i fallet med övriga redovisade leverantörer saluförs centralenheter av olika komplexitet samt sensorer [23]. Marineagent redovisar gassensorer för ett stort antal olika gaskomponenter varvid detektionsprincipen är avhängig aktuell gas. I fallet kolväten används termiska metoder och halvledarteknik för detektering.

Tegma AB utnyttjar sensorer från MSA, där detektionssignalen bygger på katalytisk förbränning [26]. Signalerna från de respektive sensorerna samlas upp i en centralenhet som i detta fall benämns XT-140. Mätområdet är 0-100 % av den nedre brännbarhetsgränsen. Sensorns responstid (till 90 % av utslaget) ligger på knappt 10 s, vilket är bra. Sensorns arbetsområde med avseende på temperatur och luftfuktighet är -20 - 40 °C respektive 0-100 % RH (ej kondensation).

Kontram, Brüel Kjaer samt Siemens baserar sina detektorsystem uteslutande på optiska metoder. Kontram säljer en IR-detektor för processanalys (Servomex 2500) som även kan användas för läckagedetektering [21]. Med denna detektor kan högre känsligheter uppnås, detektionsgränsen för metan ligger i ppm-nivå, vilket medför att eventuella gasläckage härigenom kan registreras mycket snabbt. Själva IR-instrumentet måste förses med en speciell samplingsenhet där gasprov kan tas från olika delar av anläggningen. Siemens och Brüel Kjaer säljer kolväteanalysatorer som bygger på fotoakustisk detektering [20, 25]. Precis som i fallet med Sevomex krävs i dessa fall samplingssystem för provtagning. Generellt gäller att IR-instrument har högre noggrannhet och känslighet men kräver mer omfattande underhållsinsatser, vilket är en nackdel.

Genom leverantörsinventeringen framgår att det finns ett stort antal företag som säljer relativt likvärdiga produkter. Funktionen bygger genomgående på samma principer och uppbyggnaden är identisk eller likartad. Beroende på konkurrens-situationen gäller också att prisnivån är tämligen likartad mellan de olika företagen. Slutsatsen är att det finns goda möjligheter att hitta ett lämpligt gasvarningssystem för de flesta installationer.

5.2**Exempel på referensanläggningar och erfarenheter**

Ur de referenslistor som erhållits från leverantörerna framgår att gasvarnings-system är allmänt förekommande i verkstads- och processindustrin. Det förekommer ett stort antal referenser på utrustningar för detektion av såväl naturgas som gasol. Exempel på referenser är:

Naturgas/metan

Neste OY

Tranås kommun

ÖFAB, Gäviken

PLM

Inter Lifco

Novo

Chymos Orion Conc. Villmanstr

Wärtsilä Motor

Värmeverket Tierp

Myllykoski OY

Gasol/propan

Ljungby stålgiuteri

Elektrocenter, Malmö

Scandinavian Glasfiber AB

Volvo Flygmotor

Asea-Stal

BMC

Leo

Mölnlycke

Södra Skogsägarna, Värö bruk

Falkenbergs Tryckeri

Bölserud Bruk

Söderhamns energiverk

Vasabröd

Vattenfall

Ljungby stålgiuteri

Avesta Steel Tube

ESAB AB

Ikea, Älmhult

Avesta AB

KF
AGA Gas
Sydkraft, Forsheda
Primus, Svenska AB
Statoil Omlastning
Skånebrännerier
Shell, Svenska AB

Som framgår ur ovanstående förteckning är det väsentligt vanligare med gaslarm i gasolanläggningar än i naturgasanläggningar i Sverige. Detta kan delvis förklaras av att naturgas är ett relativt nytt bränsle i Sverige med en begränsad geografisk utbredning. Den allmänna respekten för gasol är dessutom större, eftersom gasol är tyngre än luft och kan ansamlas i stagnanta fickor, vilket inte naturgas kan. Det har vidare förekommit en rad svåra olyckor med gasol, vilket också bidrar till att öka respekten för detta bränsle.

Erfarenheterna från gasdetekteringssystemen är blandade. Vissa företag anser att

"Det har varit förenat med svårigheter att erhålla representativa referenser inom gasbranschen. Detta beror i stor utsträckning på att man inom gasbranschen har en tradition att öka säkerheten genom konstruktions- och materialtekniska åtgärder. Vidare kan man konstatera att omdömena avseende nyttan med läckagedetekteringssystem är beroende av vem som tillfrågas, dvs omdömena kan variera kraftigt inom samma företag.

Inom ramen för uppdraget har kontakt tagits med ett antal gasdistributörer och gasanvändande industrier, främst via informella kontaktvägar. Resultaten från dessa kontakter tyder på en splittrad inställning till läckagedetekteringssystem, samtidigt som det inte varit möjligt att finna någon lämplig referensanläggning.

Då det gäller metandetektering utanför gasindustrin, kan VA-verket i Malmö (Sjölundaverket, Jan Brandt) användas som referens. Man använder här metandetekteringssystem (Acal Auriema) i anslutning till rötkammare, där metan bildas. Gasvarningssystemet har varit i drift under två år och under denna tid har man inte haft några som helst problem med falsklarm. Innan detta system installerades, fanns ett gammalt gasdetekteringssystem från början på 70-talet. Det gamla gasläckagedetekteringssystemet gav i motsats till det nya systemet upphov till talrika falsklarm. Detta exempel visar att gasdetekteringssystemens prestanda har förbättrats väsentligt under de senaste decennierna. Gasindustrins avvaktande hållning kan således ytterst vara historiskt betingad."

6 Möjliga metoder för läckagedetektering i industrimiljö

6.1 Fördelar vid implementering av läckagedetekteringssystem

Genom installation av ett lämpligt utformat läckagedetekteringssystem kan sannolikheten för en storolycka reduceras avsevärt i vissa gasinstallationer. En storolycka kan leda till omfattande skador på egendom, personal och tredje man. Dessutom leder en storolycka till företagsmässiga imageförluster, vilka är svåra att kvantifiera.

Det är viktigt att påpeka att ett läckagedetekteringssystem aldrig får ersätta det arbete som syftar till att designa anläggningen på ett säkert sätt. Den kanske största möjligheten att aktivt påverka anläggningssäkerheten har man vid projektering och design av anläggningen. Under dessa faser kan man välja material, komponenter och konstruktionssätt på ett sätt så att sannolikheten för riskfyllda gasutsläpp begränsas till en mycket låg nivå. Läckagedetekteringssystem skall ses som en kompletterande metod för att ytterligare öka anläggningssäkerheten, vilket kan vara befogat i vissa storskaliga installationer.

Läckagedetekteringssystemens känslighet medför att även mindre och okritiska läckage kan identifieras. De flesta läckage är i början små men kan under olyckliga omständigheter utvecklas till kritisk storlek, varvid en riskfylld situation uppstår. Genom att läckagedetekteringssystemet redan på ett relativt tidigt stadium kan slå larm, om att gasläckage förekommer i anläggningen, finns möjligheten att förhindra progressiva läckage av denna typ.

Även om normerna i dagens läge inte explicit ställer krav på läckagedetekteringssystem ger det en stor imagevinst för gasdistributörerna att kunna tillhandahålla detta alternativ. För att dra en parallell har de flesta bilindustrier utvecklat säkerhetssystem som vida överstiger gällande trafiksäkerhetsnormer, jfr t ex utvecklingen av deformationszoner, sidokollisionsskydd, luftkuddar etc.

6.2 Nackdelar vid implementering av läckagedetekteringssystem

Det finns ett antal farhågor som hittills bromsat implementeringen av läckagedetekteringssystem i gasinstallationer. Den dominerande farhågan tycks återspegla en rädsla för att installation av säkerhetssystem kan öka marknadens riskmedvetenhet för gasformiga bränslen. Denna rädsla skulle sekundärt kunna påverka marknadsföringen negativt, vilket skulle kunna medföra förlust av marknadsandelar. Denna implicita argumentation är helt i konflikt med erfarenheterna från andra branscher, där mycket resurser har satsats på säkerhetshöjande åtgärder, t ex inom bilindustrin. I dagens läge är det många bilföretag som ökar sina marknadsandelar just genom argumentet att de säljer "säkra" produkter.

Den andra farhågan består i en rädsla för de kostnader som installationen av ett läckagedetekteringssystem kan medföra i ett livscykelkostnadsperspektiv (LCC). I LCC-perspektivet ingår sådana kostnader som kan relateras till investering, drift,

underhåll och bortfall (felfunktion). Vi kommer senare i rapporten att entydigt visa att det är värt tämligen stora LCC-kostnader att reducera sannolikheten för allvarliga olyckor i större anläggningar. Ur ett riskkostnadsperspektiv gäller att samtliga de läckagedetekteringssystem som tidigare beskrivits är ekonomiskt motiverade i de flesta större gasinstallationer. Vid val mellan två likvärdiga läckagedetekteringssystem skall självklart det system väljas som medför lägst LCC-kostnader. Även andra åtgärder som kan medföra en likvärdig reduktion av sannolikheten för storolycka kan beaktas, t ex byte av flänsar, tätsvetsning och omdragning av rörledning etc.

I LCC-perspektivet ingår också drift- och underhållskostnader, vilka för olämpliga systemval kan bli stora. Det är därför viktigt att välja läckagedetekteringssystemet med hänsyn till de drift- och underhållskostnader som kan förväntas. Detta synsätt skiljer sig i viss mån från traditionell investeringskalkylering, som ju huvudsakligen ser till investeringskostnaderna. Praktiska erfarenheter visar, att det ofta är de periodiserade utgifterna för drift, underhåll och reparationer, som dominerar LCC-kostnaderna för denna typ av utrustning.

Många stora anläggningar har höga tillgänglighetskrav. Produktionsbortfall medför att likvärdiga anläggningar med avsevärt högre produktionskostnader kan behövas i drift. Eftersom man i avtal förbundet sig att leverera energi (värme eller el) till ett visst pris minskas härigenom vinstmarginalen, en vinstförlust uppstår. Om frekvensen för obefogade stopp ökar väsentligt, till följd av implementeringen av ett gasläckagedetekteringssystem, uppstår signifikanta bortfallskostnader i LCC-perspektivet. Med utgångspunkt från de anläggningsspecifika kostnaderna för ett obefogat stopp, kan man bedöma hur hög systemtillförlitligheten måste vara. Genom att utnyttja sofistikerade logiska kopplingsprinciper mellan detektorer samt parallella system som bygger på olika principer kan man i praktiken alltid uppnå de tillförlitlighetskrav som ställs. Den ökade tillförlitligheten medför dock merkostnader, såväl vid investering som vid drift och underhåll.

En annan allvarlig farhåga är att säkerhetssystem av aktuell typ kan invagga personalen i falsk trygghet, "Här händer inga olyckor, vi har ju ett säkerhetssystem!". Som i alla andra sammanhang gäller det att utbilda personalen, så att de blir riskmedvetna och förstår fördelar och nackdelar med de säkerhetssystem som installerats. Det är minst lika viktigt att utbilda personalen kring de risker som föreligger i anläggningen, som att utbilda dem i praktisk anläggningsdrift och driftekonomi. Detta utbildningsansvar vilar på arbetsgivaren, som ju har ansvaret för driften av anläggningen.

Som framgår ur ovanstående kan man således vända de flesta farhågorna till positiva erfarenheter och beteenden. Ett positivt synsätt avseende viljan att aktivt reducera risknivån i olika installationer måste alltid genomsyra verksamheten. Härigenom uppnås grundförutsättningarna för ett progressivt och kvalitetsmässigt säkerhetsarbete.

6.3 Lämplig uppbyggnad av läckagedetekteringssystem

Ett läckagedetekteringssystem bör, som tidigare nämnts, i de flesta fall byggas upp kring mekaniska metoder. I första hand bör de flödesgivare eller tryckgivare som finns i installationen utnyttjas. Om så är möjligt bör mätningarna baseras på ett differensförfarande där givarna placerats vid ingången till anläggningen samt omedelbart före förbrukningspunkterna. Genom detta förfarande undviks risken för att gas läcker ut i anläggningen, utan att ingående gasflöde påverkas, vilket ju krävs för larm vid enkel detektering.

Mekanisk detektering har fullt tillräcklig känslighet för att identifiera kritiska läckageflöden. Metoderna är vidare snabba och selektiva i motsats till många andra läckagedetekteringsmetoder. Praktiska erfarenheter ger vid handen att tillförlitligheten hos flödes- och tryckgivare är mycket hög, vilket torde reducera sannolikheten för obefogade stopp väsentligt. Samtidigt gäller också att fel-funktion i installationens flödes- och tryckgivare redan i dagens läge medför stopp av anläggningen.

Den mekaniska läckagedetekteringen kan kompletteras med ett konventionellt gasvarningssystem där sensorerna placerats i närheten av potentiella läckagepunkter alternativt i frånluftskanaler från utrymmet. Genom denna placering reduceras responstiden, vilket annars kan vara ett problem vid denna typ av detektering. Sensorerna bör baseras på katalytisk förbränning, så kallade pellistorer, alternativt halvledarteknik. Sensorernas tillförlitlighet är i allmänhet god. Genom lämplig logisk koppling av detektorerna kan sannolikheten för felaktiga gaslarm begränsas till en försumbar nivå.

Det mekaniska läckagedetekteringssystemet och gasvarningssystemet utgör två parallella system vars signaler får påverka ett säkerhetssystem som installerats i anläggningen. Säkerhetssystemet innehåller larm och snabbavstängningsfunktioner för gastillförseln. Larmet måste vara tydligt och entydigt samt vara avskilt från övriga larmfunktioner i kontrollrummet. Snabbavstängningen skall ske automatiskt om den signal som erfordras erhålls.

Kopplingen av signalerna från läckagedetekteringssystemen kan ske på olika sätt. Normalt bör signaler från gassensorerna endast föranleda larm. Detta motiveras av gassensorernas höga känslighet, varigenom snabbstopp annars även skulle kunna erhållas vid små gasläckage. Snabbavstängning av gastillförseln bör endast ske vid signal från det mekaniska systemet, eventuellt i kombination med signal från gassensorerna.

Snabbavstängningsfunktionen bör stänga en motormanövrerad ventil utanför det utrymme där utströmningen sker. Det är viktigt att gångtiden för ventilen är så liten, att den gasvolym som passerar under stängningsfasen inte medför några ökade risker.

Larmsystemet i kontrollrummet kan ha olika utseende och här gäller det att utforma detaljerna efter installationens utseende och i enlighet med personalens önskemål. Eventuellt kan gaslarmet ha flera olika nivåer med successivt stigande allvarlighetsgrad.

6.4**Kostnadsbild**

Implementeringskostnaden för ett läckagedetekteringssystem är avhängig systemets omfattning och komplexitet. Såväl omfattning som komplexitet kan variera mycket mellan olika typer av anläggningar varför det inte är möjligt att redovisa några detaljerade implementeringskostnader. Följande tabell anger dock vilka storleksordningar som blir aktuella med olika typer av system.

Mätprincip	Kostnad centralenhet (kkkr)	Kostnad per mätpunkt (kkkr)
Flödesmätning	≥100	-
Tryckmätning	≥25	25
Akustisk detektering	≥100	-
Konventionella gasvarnare	≥10	10
Fysikalisk/kemiska metoder	≥200	-

Som framgår ur ovanstående tabell är osäkerheterna så stora att det underlaget inte kan användas vid systemval. Systemvalet måste ske med utgångspunkt från den detaljerade kravspecifikation som ligger till grund för systemupphandlingen.

7 Rekommendationer

7.1 Installationer där gasläckagedetekteringssystem är lämpliga

Det är orimligt att installera läckagedetekteringssystem i samtliga gasinstallationer. Insatserna bör inriktas på de installationer där säkerheten i väsentlig grad kan förbättras genom installation av ett gasläckagedetekteringssystem. I detta sammanhang gäller det, att beakta såväl sannolikheten för, och konsekvensen vid en storolycka, och väga denna riskbild mot den förväntade riskreduktionen och läckagedetekteringssystemets LCC-kostnad.

I små installationer, typ villaabonnenter, gäller att installationerna är okomplicerade samtidigt som den maximalt omsatta energimängden är liten (små utrymmen). Härigenom gäller att risknivån är låg, varför åtgärder för att ytterligare sänka denna endast kan motiveras med system som medför marginella LCC-kostnader. I sådana sammanhang är läckagedetekteringssystem inget rimligt alternativ. Det bör också påpekas att säkerhetssystemets responstid måste vara så kort att erforderliga säkerhetsåtgärder hinner vidtagas innan en riskfylld situation uppstår. Om inte detta kriterium kan uppfyllas, saknar installationen praktisk nytta.

Efterhand som olyckssannolikheten ökar (ökad komplexitet, fler potentiella läckageställen) och utrymmenas storlek växer (maximalt omsatt energimängd ökar) gäller att allt högre LCC-kostnader kan motiveras för att sänka risknivån. Målgruppen för läckagedetekteringssystem är därför i första hand omfattande gasinstallationer i stora utrymmen. Det är förenat med svårigheter att entydigt definiera gränserna för "omfattande gasinstallationer" och "stora utrymmen". I tveksamma fall bör därför en riskanalys ligga till grund för bedömningen av ett läckagedetekteringssystemets effekt på risknivån i anläggningen. Som ledtrådar vid identifiering av högriskanläggningar kan parametrar som ansluten effekt (MW), servisledningens dimension ($\emptyset$ mm) samt trycknivå (bar(ö)) utnyttjas. Man måste vidare ta hänsyn till anläggningens geografiska belägenhet. Om anläggningen är belägen i ett tätbefolkat eller känsligt område ställs högre krav på säkerhetssystem för att begränsa risknivån. Parametern "geografiskt läge" påverkar konsekvenserna vid en storolycka och behandlas således i en eventuell riskanalys.

Sammanfattningsvis kan man säga att läckagedetekteringssystem främst bör övervägas i omfattande gasinstallationer av typen kraftverk, panncentraler och storskalig processindustri. Gasläckagedetekteringssystem är inget rimligt alternativ för hushållsabonnenter och småindustri.

7.2 Lämplig systemutformning

Ett läckagedetekteringssystem bör baseras på mekaniska metoder, antingen flödes- eller tryckmätning. Sådana givare existerar redan i många installationer varför det blir frågan om att komplettera de befintliga systemen med en elektronisk krets för signalbehandling samt ett säkerhetssystem för larm och snabbavstängning av gastillförseln.

Det mekaniska systemet kan kompletteras med ett konventionellt gasvarnings-system som bygger på katalytisk förbränning eller halvledarteknik. Sensorerna bör placeras i anslutning till potentiella läckageställen eller frånluftskanaler och bör kopplas så att långtgående tillförlitlighetstekniska krav kan tillgodoses.

Gasvarningssystemet bör endast föranleda larm (eventuellt flera nivåer) medan signal från det mekaniska systemet, eventuellt i kombination med gaslarm, skall medföra snabbavstängning av gastillförseln. Genom detta förfarande erhålls larm vid små okritiska läckage, medan snabbstängning kan genomföras vid stora kritiska läckage.

Läckagedetekterings- och säkerhetssystemens detaljerade utformningar, kan inte beskrivas i en generisk rapport av denna typ utan är avhängiga installationernas faktiska utseende, vilka kan variera kraftigt från fall till fall.

7.3 Kvarstående svagheter

Vid implementering av nya system krävs alltid ökade drift- och underhållsinsatser, vilka genererar kostnader. Det är därför viktigt att välja de säkerhetskänsliga åtgärder som genererar lägst LCC-kostnader. I detta sammanhang kan även andra åtgärder än läckagedetektering bli aktuella, t ex åtgärder som bidrar till att minska antalet potentiella läckageställen.

Av de läckagedetekteringsmetoder som rekommenderas medför de mekaniska metoderna sannolikt endast en marginell ökning av drift- och underhållskostnaderna. Detta beror dels på att komponenterna redan existerar och dels på att komponenternas tillförlitlighet är hög. Implementeringen av ett gasvarningssystem kommer att kräva samma typ av drift- och underhållsinsatser som erfordras i fallet med branddetekteringssystemet. Utöver själva läckagedetekteringssystemet, kräver även säkerhetssystemet vissa underhållsåtgärder.

Sannolikheten för obefogade stopp i anläggningarna kommer endast att påverkas marginellt, under förutsättning att installationen utförs med utgångspunkt från de tillförlitlighetsanalyser, som bör ligga till grund för designen.

För att undvika en successiv avtrubbnings av riskmedvetenheten hos personalen bör denna genomgå en detaljerad utbildning avseende riskerna i anläggningen. Dessutom bör haveriövningar genomföras regelbundet, för att hålla riskmedvetenheten på en hög nivå.

Slutsatsen är, att uppbyggnaden av säkerhetssystemet samt rutinerna för skötsel och underhåll av detta, avgör om implementeringen lyckas eller inte. Genom att utföra erforderliga risk- och tillförlitlighetsanalyser före systemdesignen undviks konstruktionsmässiga misstag. För att undvika problemen med bristande skötsel och underhåll krävs utbildning av personalen samt en positiv inställning till säkerhetshöjande åtgärder.

7.4

Effekter på risknivån

Genom installation av ett gasläckagedetekteringssystem kan sannolikheten för bildning av inneslutna brännbara gasolymer reduceras i väsentlig grad. Vid inträffad läckageindikering sker snabbavstängning av gastillförseln varvid den gaskvantitet som redan slupit ur systemet successivt kan ventileras bort. Genom att sannolikheten för uppkomst av kritiska gas/luft-blandningar i utrymmet reducerats sjunker även risken för storolyckor. Installation av ett läckagedetekteringssystem påverkar dock inte konsekvensbeskrivningen utan här krävs andra åtgärder som explosionsavlastningar.

Sådana gasutsläpp som inte leder till nödstopp av anläggningen kan medföra mindre deflagrations- och diffusionsbränder. Sådana olyckor leder normalt endast till lokala skador på anläggningen.

Det är svårt att generellt bedöma hur mycket sannolikheten för storolyckor kan reduceras genom införandet av ett läckagedetekteringssystem. Riskreduktionsfaktorn är avhängig gasinstallationens utseende, ursprunglig risknivå, läckagedetekteringssystemets egenskaper och tillförlitlighet samt utrymmets storlek och utformning. I de flesta fall kan sannolikheten för storolyckor reduceras med en faktor i intervallet 10-1 000.

Man kan lätt genomföra en översiktlig kalkyl över värdet av riskreducerande åtgärder i ett specifikt fall. Antag t ex att man avser bedöma värdet av att installera ett gasläckagedetekteringssystem i en panncentral, vilken kostar ca 250 MSEK att uppföra i dagens penningvärde. Panncentralen genererar varje år ett täckningsbidrag till verksamheten på 100 MSEK. Panncentralen antas vara relativt nybyggd varvid den återstående tekniska livslängden bedöms till 20 år.

En riskanalys har genomförts, vilken indikerar att en storolycka (innesluten gasexplosion) medför ekonomiska konsekvenser på ca 300 MSEK, baserat på skador på omgivande byggnader och konstruktioner. Till detta kommer skadeståndsanspråk från personer och anhöriga som lidit personskador till följd av storolyckan. Generiska data avseende läckagefrekvenser ger vid handen att frekvensen för ett kritiskt läckageflöde är $3 \cdot 10^{-2} \text{ år}^{-1}$, vilket får anses vara högt. Det höga värdet föranleds av det stora antalet flänsar och ventiler i systemet samt av den bristfälliga ventilationen.

Den direkta kostnaden för en storolycka är således ca 550 MSEK om man bortser från långsiktiga imageförluster, vilka är svåra att kvantifiera. Företaget har dock tecknat en försäkring som täcker egendomsförlusten och eventuella skadeståndsanspråk. Självrisken är 50 MSEK och den årliga premien uppgår till 2 MSEK. Det kommer att ta ca 3 år att bygga upp anläggningen igen och under denna tid förloras det årliga täckningsbidraget på 100 MSEK. Det är vidare tveksamt om produktionskostnaderna i den nya anläggningen kan bli så låga att täckningsbidraget kan restaureras till den ursprungliga nivån.

En tillförlitlighetsstudie har visat att installation av ett läckagedetekteringssystem kan reducera sannolikheten för en storolycka till $1 \cdot 10^{-3}$ år⁻¹, d v s en faktor 30.

Kostnads- och värdeökningen antas motsvara inflationen. Olycksfrekvenserna antas vara exponentialfördelade och beräkningarna visar att gasläckagesystemet kan minska olyckssannolikheten från 45 % till 2.0 % räknat på 20 år. De ekonomiska konsekvenserna vid en storolycka uppgår till 350 MSEK (uteblivet täckningsbidrag under 3 år samt självrisk) plus eventuella imageförluster, vilka kan vara mycket svåra att bedöma i ekonomiska termer. Det är t ex högst osannolikt att man tillåter återuppbyggnad av panncentralen i det aktuella området, varvid merkostnader kan uppstå för förändring av matningsledningar för fjärrvärme och kraft.

Den genomsnittliga reduktionen i riskkostnad uppgår till 7.5 MSEK per år vid installation av det aktuella gasläckagedetekteringssystemet. Reduktionen i riskkostnad motsvarar den ur ekonomisk synpunkt maximala kostnaden för satsning på riskreducerande åtgärder till aktuell risknivå. Gasläckagesystemet antas kosta 3 MSEK att installera. Till denna kostnad kommer periodiserade drift- och underhållskostnader på 0.2 MSEK per år. Fördelat över driftperioden motsvarar detta 350.000 SEK per år, vilket är klart lägre än åtgärdens effekter på riskkostnaderna. I detta fall är alltså investeringen motiverad såväl moraliskt, etiskt som företagsekonomiskt.

Ovanstående beräkningsmetodik ger en indikation på att även relativt stora investeringar kan vara motiverade, då det gäller att reducera risknivån i anläggningar med hög risknivå. Om det finns flera likvärdiga metoder att nå samma riskreduktion skall självklart den metod tillämpas som ger lägst kostnader i ett LCC-perspektiv. Härigenom kan även metoder som består i att minska antalet läckageställen bli aktuella, t ex helsvetsning. Det finns flera faktorer som inverkar på om ett detektionssystem är motiverat med hänsyn till minskningen av riskkostnaderna. Bland de mer dominerande faktorerna kan följande nämnas:

- Risknivå utan läckagedetekteringssystem
- Läckagedetekteringssystemets riskreduktionsfaktor
- Förekomst av riskreduktionsmässigt likvärdiga alternativ
- Konsekvenserna av en storolycka uttryckt i ekonomiska termer
- Försäkringsförhållanden

- Anläggningens återstående tekniska livslängd
- Läckagedetekteringssystemets kostnader i ett LCC-perspektiv
- Anläggningsägarens riskbenägenhet och rädsla för kortsiktiga kostnader

Generellt kan sägas att det är motiverat med tämligen långtgående risk-reducerande åtgärder i stora anläggningar men att man så småningom når en situation i säkerhetsarbetet där den ekonomiska marginalnyttan av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder är lägre än LCC-kostnaden för åtgärden som sådan. Brytpunkten där marginalnyttan försvinner är specifik för varje anläggning och måste bedömas med utgångspunkt från aktuella anläggningsdata och risknivåer.

7.5

Avslutande rekommendationer

Installation av läckagedetekteringssystem för att reducera risknivån i gasinstallationer bör primärt övervägas i omfattande gasinstallationer i stora utrymmen. I varje enskilt fall bör en riskanalys ligga till grund för bedömningen av läckagedetekteringssystemets inverkan på risknivån i anläggningen. I en sådan riskanalys måste också andra möjligheter att sänka risknivån beaktas. Exempel på sådana möjligheter är förstärkt ventilation, helsvetsade rörsystem, eliminering av potentiella läckageställen samt begränsning av byggnadsvolymer.

Läckagedetekteringssystemet bör baseras på mekaniska metoder, företrädesvis flödes- eller tryckmätning. Det mekaniska systemet kan eventuellt kombineras med ett konventionellt gasvarningssystem. Gasvarningssystemet kopplas till ett larmsystem medan det mekaniska systemet (eventuellt tillsammans med gasvarningssystemet) kopplas till ett snabbavstängningssystem för gasen.

Man bör påbörja ett arbete som syftar till att identifiera de anläggningar i vilka gasläckagedetekteringssystem kan och bör utnyttjas. Implementeringen av gasdetekteringssystem bör sedan ske successivt där de mest riskfyllda installationerna först åtgärdas.

8**Referenser**

- 1 K Watanabe, H Koyama, H Tanoguchi, T Ohma och D M Himmelblau, Computers Chem Eng vol 17, no 1, 61 (1993)
- 2 Muntlig kontakt med Nils Widing, Sydgas AB
- 3 Muntlig kontakt med Tomas Ander, Euromekanik AB
- 4 Muntlig kontakt med Rolf Johnsson, Sydkraft Mätteknik AB
- 5 T-boken, Tillförlitlighetsdata för komponenter i nordiska kärnkraftverk, 3:e upplagan, Studsvik 1992
- 6 L H Hirsch, Proc of International Gas Research Conference, London, 13-16 juni, 88 (1983)
- 7 H Harigome, Y Ohnishi, Y Fukushima och M Itoh, Proc - IECON 86, 79 (1986)
- 8 K Watanabe, H Koyama och H Ohno, Advances in Instrumentation, 619 (1987)
- 9 K Watanabe och D M Himmelblau, AIChE J, vol 32, no 10, 1690 (1986)
- 10 V N Bachegov, O N Pustovoi, Sov J Nondestr Test, vol 19, no 5, 394 (1983)
- 11 J E Huebler, C J Ziolkowski, S B Eynon och L L Alpeter Jr, Pipeline & Gas Journal, nov 1985, 26.
- 12 Världsgaskonferensen i Berlin 1991, rapport från kommitté B, IGU/B-91, 159 -180.
- 13 A M Azad, S A Akbar, S G Mhaisalkar, L D Birkefeld och K S Goto, J Electrochem Soc, vol 139, no 12, 3690 (1992)
- 14 S N Malchenko, I N Lychkovsky och M V Baykov, Sensors and Actuators B, 505 (1992)

- 15 J Christensen, Brüel & Kjaer Techn review, no 1, 1991
- 16 J P Dakin, C A Wade, D Pinchbeck och J S Wyknes, Proc Fibre Optics, 254 (1987)
- 17 C Kinpui, I Hiroomasa och I Humio, J of Lightware tech, vol 1t-5, no 12, 1706 (1987)
- 18 Informationsmaterial från Bergman & Beving, Process AB
- 19 Information från Acal Auriema AB
- 20 Informationsmaterial från Siemens Svenska AB
- 21 Informationsmaterial från Kontram Sweden
- 22 Informationsmaterial från Boo Instrument AB
- 23 Informationsmaterial från Marineagent AB
- 24 Informationsmaterial från Salvico Consilum
- 25 Informationsmaterial från Brüel Kjaer Sverige AB
- 26 Informationsmaterial från Tegma AB

95-01-04

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Instit. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

95-01-04

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen AF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

95-01-04

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonsulterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknisk utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med lägningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

95-01-04

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärmö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karl, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålar	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand	150



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 19011, 200 73 MALMÖ
Telefon: 040- 37 55 90
Telefax: 040- 37 55 96