

Åtgärder vid kemikalieutsläpp

Metodvägledning

ÅTGÄRDER VID KEMIKALIEUTSLÄPP Metodvägledning

Daniel Ekström Ken Nessvi

Svenska Brandskyddsföreningen (SBF) är en ideell förening som arbetar för ett brandsäkrare Sverige. Målet är att förhindra och begränsa bränder. Vi hjälper människor, företag och organisationer att ta eget ansvar för sitt brandskydd.

Föreningen samarbetar med de regionala länsföreningarna, med kommunal räddningstjänst samt med intressenter för näringsliv och offentlig verksamhet.

I SBFs verksamhet ingår information, utbildning, förlagsverksamhet och brandteknisk rådgivning.

© Brandskyddsföreningens Service AB

115 87 Stockholm

Tel Vx 08-588 474 00

Telefax 08-662 35 07

www.svbf.se

Form omslag: Keje Gustafsson

Teckningar inlaga: Ingemar Wallgren

Tryck: AWJ-Tryck AB Nyköping 2007

ISBN 91-7144-383-5



MILJÖMÄRKT 341 272

Förord

Denna handbok omfattar åtgärder som vidtas av räddningsstyrkan på eller intill en skadeplats efter olyckor med farligt gods.

Innehållet är huvudsakligen upprättat från följande underlag:

- *Överpumpning – en handbok i pumpning och uppsamling av kemikalier*, Hermelin J. & Magnusson B. SBF 1981.
- *Tätning och invallning*, Tredje upplagan, Hermelin J. SBF 1987.
- *Gasindikering*, Andra utgåvan, Hermelin J. SBF 1988.

Fokus i arbetet har legat på att generellt uppdatera materialet och att komplettera det med metoden impaktering (återkondensering) samt fler mätprinciper för gasindikering.

Här finns inte samma apparatfokusering som tidigare och därför har inte någon omfattande marknadsgenomgång genomförts.

Områden som inte tas upp är personlig skyddsutrustning, släckteknik, skumläggning, nedtvättning av gasmoln, utläggning av länsar, gnistfria verktyg, håltagning, indikering av kemiska stridsmedel och joniserande strålning, ph-indikering, neutralisering samt sanering av personal och av läckageplatsen.

Åtgärder vid kemikalieutsläpp – Metodvägledning har skrivits av Daniel Ekström och Ken Nessvi på Øresund Safety Advisers AB (ØSA).

Intern kvalitetsgranskning har skett av författarna själva och viss extern granskning har skett av brandmästare Leif Hylander på Räddningstjänsten i Perstorp och brandingenjör Johan Hermelin, Strategihuset, Sollentuna.

Stockholm i september 2007

Göran Schnell

Svenska Brandskyddsföreningen (SBF)

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Om författarna	8
1.2	Skriftens upplägg	8
2	Förutsättningar på skadeplats	9
2.1	Allmänt	9
2.2	Kritiska faktorer	9
2.3	Metodval	9
2.4	Utflöde	12
3	Invallning och uppsamling	13
3.1	Avledning	13
3.2	Inledande uppsamling	13
3.3	Invallning med slang, jord, torv och sand	15
3.4	Tätning av brunnar	15
3.4.1	Avloppslock (spärrskivor)	15
3.4.2	Självresande vattenfyllda kar	15
3.4.3	Brunnstätare med tryckluft	16
4	Tätning	17
4.1	Kilar och proppar	17
4.1.1	Trä	17
4.1.2	Teflon och polypropylen	18
4.1.3	Expanderbara pluggar	19
4.1.4	Pneumatiska pluggar	19
4.2	Spännband och skivor	19
4.3	Tätningstvingar	20
4.4	Tätningsskuddar	21
4.4.1	Vetter	21
4.4.2	Sava	22
4.5	Avtappningskudde	22
4.6	Lyftkudde och lastspännare	22
4.7	Magnetiska tätningsmattor	24
4.8	Tryckvattenfylld brandslang	25
4.9	Tätning av rör	25
4.9.1	Invändig rörtätning	25
4.9.2	Utvändig rörtätning	26
4.9.3	Tätningsskramrar(Katastrofklämmor)	26
4.9.4	Tätning med rörstrykning	26
4.9.5	Flänsförband	27
4.10	Bärgningsemballage	27
4.11	Metodval	28
5	Impaktering (återkondensering)	29
5.1	Fysikalisk princip	29
5.2	Metodbeskrivning	29
6	Överpumpning	31
6.1	Inledning	31
6.2	Olika typscenarier	31
6.2.1	Tankbilar	32
6.3	Uppbyggnad av pumpsystem	33

6.4	Pumpar	34
6.4.1	Allmänt	35
6.4.2	Kravspecifikation	35
6.5	Kopplingar	37
6.6	Slangar	38
6.7	Sugsilar	38
6.8	Överpumpningskärl	38
6.9	Potentialutjämnning (jordning)	39
6.9.1	Utförande	41
6.9.2	Övriga tändkällor	41
6.10	Säkerhet	42
6.11	När pumpningen är avslutad	42
7	Gasindikering	43
7.1	Frågeställningar	44
7.2	Allmänt om att mäta gaser	45
7.3	Egna sinnen	47
7.4	Katalytisk explosimeter (Pellistor)	48
7.4.1	Kalibrering	51
7.4.2	Användning	51
7.4.3	Störningar	52
7.5	Halvledarsensor (MOS-sensor)	52
7.6	Elektrokemisk detektion	55
7.7	Analysampuller	57
7.7.1	Funktion	57
7.7.2	Störningar	58
7.7.3	Mätområden	59
7.7.4	Avläsning	60
7.7.5	Pumpar och handhavande	60
7.7.6	Några nackdelar med analysampuller	61
7.8	Fotojonisation (PID)	61
7.8.1	Fördelar och begränsningar	62
7.8.2	Korrektionsfaktorer	63
7.8.3	Val av energinivå på lampan	63
7.8.4	Störningar	64
7.8.5	Alarmnivåer	64
7.8.6	Underhåll	65
7.9	Flamjonisation (FID)	65
7.10	Jonmobilitetsspektroskopi (IMS – Ion Mobility Spectrometry)	65
7.11	Infraröd detektion (IR)	66
7.12	Taktisk användning	66
7.12.1	Att säkert närma sig ett gasutsläpp/vätskepöl	68
7.12.2	Att lokalisera en läcka	68
7.12.3	Kontroll efter sanering	68
7.12.4	Personligt skydd	69
7.12.5	Mätning inne i gasmolnet	69
7.12.6	Att mäta en taktisk linje (skyddsperimeter)	69
7.12.7	Förorenade jordmassor	70
7.12.8	Gasfrihetsförklaring	71
7.12.9	Allmänt	71
7.13	Att köpa instrument	71
	Referenser	73
	Bilaga A – Korrektionsfaktorer för explosimetrar (pellistorer)	74
	Bilaga B – Jonisationspotentialer och korrektionsfaktorer	75

I Inledning

Denna handbok är tänkt att fungera som metodvägledning för de åtgärder som föreslås under Utflöde i Svenska Brandskyddsföreningens Farligt Gods-kort, se bild 1.1.

Skriften ger teoretiska och praktiska anvisningar, främst avsedda för personer inom kommunens och industrins räddningstjänst. Publikationen gör inga anspråk på att vara heltäckande utan är tänkt att vägleda läsaren med kunskaper kring åtgärder vid kemikalieolyckor och kan användas inom olika områden i den kommunala planeringen av skyddet mot kemikalieolyckor.

1. Identifiering och bedömning av lokala risker som kräver beredskap med olika metoder och utrustning för olyckor med farligt gods

Detta är en del av det kommunala riskhanteeringsarbetet och handlar om att inventera och bedöma risker med de ämnen som hanteras på de lokala industrierna och som flödar på olika vägvägnar i kommunen. Utifrån inventeringen och analysen skapas en behovsbild över den förmåga och beredskap kommunen behöver upprätthålla själv och tillsammans med regionala aktörer. I detta arbete kan skriften ge läsaren kunskaper om vilka åtgärder den

Farligt Gods

Etylacetat 70

CH3COOCH2CH3

Första information

Skyddsutrustning: Branddräkt – Tryckluftapparat

Personal vid läckageplatsen: Branddräkt med stänkskydd Tryckluftapparat

Största risk: Brand – Explosion

Första åtgärd: Utrym riskzonen Undanröj tändanordningar Vatta in

Riskzon: Inlämt 50 m vid stort utflöde

Brandfara: Stor

Reaktivitetstfara: Stor

Hälsotfara: Liten till måttlig

Miljöfara: Liten

Viktiga data

Ämne som är giftigt vid inandning och vid kontakt med huden

Utsäende: Färglös, klar vätska

Lukt: Fruktigande

Smältpunkt: -83°C

Kokpunkt: 77°C

Densitet: 802 kg/m³

Viskositet: 0,5 cSt

Brännbarhetsområde: 2,2-11,5 vol%

Flampunkt: -4°C

Termisk tändpunkt: 400°C

Löslighet: Måttligt löslig i vatten (8 vol%).

Reagerar med många organiska lösningsmedel

Log Pow: 0,73

Nedbrytbarhet: Lättnedbrytbar

Molekylvikt: 88,12

Flyktighet: Lättflyktig

Ångtryck: 9,7 kPa

Kritisk temperatur: 250°C

Mättnadskoncentration: 9,6 vol%

Densitet: 3,0 (luft: 1,0)

Hygieniskt gränsvärde: 300 ppm (KTV)

Förbränningsvärde: Ca 1 ppm

Korttidseffekt: 200 ppm per situation i ögon och andningsvägar

IDLH: 2 000 ppm

Toxicitet: Hälsoskadlig

Ekotoxicitet: Ringa

Märkning

Anmärkning:

Transportetiketter

ADR - RID - IMDG - ICAO

Klass: 3

Förpackningsgrupp: II

Handteringsetiketter

Riskdras: 11-35-65-67

Skyddstresor: (2)-10-26-33

Hälsorisker

Vätskan i organiska lösningsmedel och på hud kan framkalla allergiska reaktioner. Vid inandning kan vätskan framkalla irritation i luftvägarna. Vid kontakt med huden kan vätskan framkalla irritation. Vid kontakt med ögonen kan vätskan framkalla irritation. Vid kontakt med huden kan vätskan framkalla irritation. Vid kontakt med ögonen kan vätskan framkalla irritation.

Utsäende: Färglös, klar vätska

Lukt: Fruktigande

Smältpunkt: -83°C

Kokpunkt: 77°C

Densitet: 802 kg/m³

Viskositet: 0,5 cSt

Brännbarhetsområde: 2,2-11,5 vol%

Flampunkt: -4°C

Termisk tändpunkt: 400°C

Löslighet: Måttligt löslig i vatten (8 vol%).

Reagerar med många organiska lösningsmedel

Log Pow: 0,73

Nedbrytbarhet: Lättnedbrytbar

Molekylvikt: 88,12

Flyktighet: Lättflyktig

Ångtryck: 9,7 kPa

Kritisk temperatur: 250°C

Mättnadskoncentration: 9,6 vol%

Densitet: 3,0 (luft: 1,0)

Hygieniskt gränsvärde: 300 ppm (KTV)

Förbränningsvärde: Ca 1 ppm

Korttidseffekt: 200 ppm per situation i ögon och andningsvägar

IDLH: 2 000 ppm

Toxicitet: Hälsoskadlig

Ekotoxicitet: Ringa

Etylacetat 70

Ämne som är giftigt vid inandning och vid kontakt med huden

Symptom

Andning

Snabbt, svårt, svårt att andas

Ögon

Snabbt, svårt, svårt att se

Hud

Snabbt, svårt, svårt att känna

Information till läsare

Etylacetat används till att lösa upp många olika ämnen. Det är ett giftigt ämne som kan skada hälsan om det inandas eller kommer i kontakt med huden. Det är också ett brandfarligt ämne som kan antändas om det kommer i kontakt med en öppen eld eller en varm yta.

Brand- och explosionsfara

Etylacetat är ett mycket brandfarligt ämne. Det kan antändas om det kommer i kontakt med en öppen eld eller en varm yta. Det kan också explodera om det kommer i kontakt med en öppen eld eller en varm yta.

Brandtecken

Brandtecken 2 (H22) Brandfarligt

Brandtecken 3 (H23) Irriterande

Brandtecken 4 (H24) Miljöfarligt

Ängör

Ängör 2 (H22) Brandfarligt

Ängör 3 (H23) Irriterande

Ängör 4 (H24) Miljöfarligt

Egenskaper och risker

Etylacetat är ett giftigt ämne som kan skada hälsan om det inandas eller kommer i kontakt med huden. Det är också ett brandfarligt ämne som kan antändas om det kommer i kontakt med en öppen eld eller en varm yta.

Utsäende

Etylacetat är ett giftigt ämne som kan skada hälsan om det inandas eller kommer i kontakt med huden. Det är också ett brandfarligt ämne som kan antändas om det kommer i kontakt med en öppen eld eller en varm yta.

Bild 1.1: Svenska Brandskyddsföreningens Farligt Gods-kort

De steg som räddningstjänsten måste genomgå och där denna skrift kan komma till användning vid uppbyggnaden av kunskapsbasen är:

lokala räddningsstyrkan kan ges möjlighet att genomföra, dock ingår inte vägledning till hur analyskedet av den lokala riskbilden kan bedrivas. För detta hänvisas till litteratur om riskanalysmetoder, t ex *Riskanalys – Metodbeskrivning för beställare – utförare* – *granskare* utgiven av Svenska Brandskyddsföreningen.

2. Införskaffande av lämplig utrustning för de identifierade behoven (de lokala förhållandena)

Olika ämnen och typer av behållare kan kräva att olika metoder och utrustningar finns att tillgå. Om riskanalysen pekar på risker för olyckor med giftiga gaser nära befolkade områden kan detta kräva förmåga hos kommunen att genomföra tillfredställande gasindikering etc. Valet av utrustning och metoder kan också vara kopplat till krav på underhåll, kompetensnivå hos tillgänglig personal och ekonomiska förutsättningar.

3. Utfärdande av skriftliga instruktioner och lathundar för att underlätta arbetet vid insats

Vid genomförandet av insatser krävs för viss utrustning enklare och mer anpassade instruktioner än tillverkarnas manualer. Vid indikering av vissa ämnen kan korrigeringsfaktorer och kalibreringskurvor behövas. Detta måste vara väl förberett för att fungera på fältet!

4. Utbildning och övning av den personal som ska hantera utrustning och genomföra åtgärder

Inte minst är det viktigt med träning och utbildning för att tänkta metoder ska fungera i skarpa situationer. I utbildningen kan detta häfte fungera som kursmaterial för att ge personalen möjlighet till fördjupningar inom olika metoder som kan användas vid kemikalieolyckor. Grunderna för att lyckas med de metoder som tas upp är att räddningsinsatsen föregåtts av noggrann analys, planering och övning.

Ken Nessvi är brandingenjör från Statens Brandskola och universitetsutbildad kemist. Ken har stor yrkeserfarenhet och arbetar som specialist med frågor kring farligt gods och dammexplosioner. Han har i första hand skrivit kapitlet om överpumpning.

I.2 Skriftens upplägg

Texten är uppdelad i två nivåer. Den grundläggande nivån är skriven med svart text och vänder sig till samtliga intresserade och bör kunna följas utan några större förkunskaper. Den andra nivån är lite mer ingående och är skriven för den som är lite mer intresserad och har något djupare förståelse. Denna text är och markerad med röd linje i marginalen.

Häftets första kapitel beskriver kort vad häftet handlar om, vad det är tänkt att användas till, vilka som har skrivit det och med vilken bakgrund. Därefter följer ett kort kapitel om de faktorer på skadeplatsen som påverkar metodval och inriktning för insatser vid olyckor med farligt gods.

Sedan följer kapitel med genomgång av metoder och utrustning för invallning och uppsamling, tätning, impaktering, överpumpning och gasindikering.

Manuset avslutas med två bilagor. Här återfinns tabeller över generiska värden på korrektionsfaktorer och jonisationsenergier.

Vissa materials kemikalieresistens hittar du på:

www.ansellpro.com/download/Ansell-7thEditionChemicalResistanceGuide.pdf

I.1 Om författarna

Daniel Ekström är utbildad brandingenjör och civilingenjör i Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Han är också utbildad kemiingenjör vid Chalmers Tekniska Högskola och har erfarenhet som utvecklingsingenjör i processindustrin inom området bindemedel för färger och lacker. För närvarande arbetar han som konsult med riskhantering inom brand, explosioner och kemikalieutsläpp.

2 Förutsättningar på skadeplats

I detta kapitel behandlas några av de förutsättningar som råder på skadeplatsen. Tanken är inte att presentera någon heltäckande bild utan att ge en överblick över vilka skadeplatsfaktorer som kan vara viktiga att beakta vid metodval och inriktning för insatsen.

2.1 Allmänt

Då en olycka med kemiska ämnen inträffar är behovet av insats från räddningstjänsten ofta överhängande. Väl framme vid olycksplatsen kan räddningspersonalen ganska omedelbart få inblick i om olyckan är *statisk* (stillastående, förändras inte) eller *dynamisk* (händelseförloppet ändras med tiden). Ofta är en kemikalieolycka att betrakta som dynamisk då ett pågående utflöde påverkar händelseförloppet. En statisk olycka som inledningsvis kan vara ganska lugn kan övergå till en dynamisk olycka, t ex då åtgärder sätts in eller systemet påverkas på annat sätt.

2.2 Kritiska faktorer

Det finns ett antal skadeplatsfaktorer som räddningsledaren måste väga in som beslutsunderlag vid val av inriktning och metoder för insatsen. Ett antal av dessa kan vara kritiska faktorer som omedelbart leder fram till behov av vissa åtgärder.

Nedan följer en punktlista över *exempel* på skadeplatsfaktorer där räddningsledaren behöver inhämta information att använda som beslutsunderlag:

Ämne

- brännbarhet (flampunkt/termisk tändpunkt)
- giftighet (toxikologisk data och ekotoxikologisk data)
- frätande egenskaper
- flyktighet (ångtryck)
- löslighet i vatten och olika lösningsmedel (för rengöring)
- möjliga reaktionsvägar (med frigjorda reaktionsenergier och slutprodukter)

Utsläppets karaktär

- gasfas/vätskefas
- pölbildning
- källstyrka
- varaktighet

Hålets karaktär

- storlek
- skarpa kanter
- cisternens vägg tjocklek
- placering på kärlet (gasfas/vätskefas, hörn, ventiler)
- mottryck

Omgivning

- direkta hot: trafik, tändkällor
- avstånd till allmänheten
- hinder (byggnader, vallar, murar, etc)
- skrovlighet i underlaget (gräs, skog, stadsbebyggelse, etc)

Meteorologiska förutsättningar

- vind
- stabilitet i atmosfären
- nederbörd

2.3 Metodval

Räddningsledaren har ett antal metoder till förfogande vid en olycka med farligt gods. Många av dessa beskrivs med varierande detaljnivå i denna skrift. Innan en metod sätts in måste räddningsledaren ha klart för sig vad han vill uppnå med insatsen, här kallat AMI – *Avsikt Med Insatsen*. Ibland brukar insatsens inriktning beskrivas med dess *taktiska grundinriktning* (TGI), för vissa kan detta begrepp fungera som tankemodell och vara en hjälp vid kommunikation om avsikten med insatsen. Den första indelningen kan göras mellan *offensiv* och *defensiv* insats. En offensiv insats motverkar aktivt olyckan medan en defensiv insats snarare begränsar eller fördröjer olyckans negativa konsekvenser. En något förenklad beskrivning över några vanliga taktiska grundinriktningar är:

- Livräddning
- Begränsning
- Fördrojning
- Eliminera skadekällan (utsläppet)

För att fördela uppgifter på skadeplatsen kan dessa (och fler alternativ) sättas in på en relativ tidsskala, ofta kallad IDA (Inledningsvis, Därefter, Avslutningsvis). Hur detta kan ske visas i tabell 2.1.

Taktisk grundinriktning	Inledningsvis	Därefter	Avslutningsvis
Livräddning	1.		
Begränsning		2.	
Fördrojning			
Eliminera skadekällan (utsläppet)			3.

Tabell 2.1: Taktisk grundinriktning i tidsskalans olika skeenden.

De metoder som beskrivs i detta häfte kan oftast hänföras till någon av de taktiska grundinriktningar som beskrivits ovan. Exempelvis kan tätning hänföras till att eliminera skadekällan (utsläppet) eller till fördrojning beroende på

vilken effekt som förväntas. På samma sätt kan metoder för invallning hänföras till den taktiska grundinriktningens begränsning.

När målen med insatsen är fastslagna kan man dela in olyckan i domäner (delområden) i tid och rum. Inom dessa domäner finns ett antal uppgifter och metoder som räddningsstyrkan kan genomföra, ofta tillsammans med andra aktörer. En sådan uppdelning kan se ut ungefär som i tabell 2.2.

Som framgår av tabell 2.2 är extern expertis idag allt oftare inblandad i olika moment i en större olycka med farligt gods. Det kan vara personal med bärgare, slamsugare, kranförare, personal från olika kemiska industrier, utländsk personal eller kanske personer som finns upptagna som resurser i Räddningsverkets Informationsbank (RIB).

Värt att nämna i samband med extern personal är vikten av att tidigt ta reda på vilka försäkringsbolag som kan vara inblandade, deras vilja att betala för restvärdeskyddande åtgärder och att få ut restvärdesledare (RVL) till olycksplatsen i ett tidigt skede.

Domäner	Uppgift/metod	Kan utföras av:
Olycksplats, initialt	Skapa kontrollerbar trafiksituation	Första styrkan, polis
	Undanröja tändanledningar	Första styrkan
	Losstagnung för livräddning	Första styrkan
	Avspärrningar	Första styrkan, polis
	Sjukvård	Första styrkan, ambulans
	Beredskap för brand	Första styrkan
	Utrymning hotade personer	Rtj-personal, polis
Gasmoln	Nedtvättning	Rtj-personal
	Gasindikering	Rtj-personal, extern expertis, frivilligorganisationer
Utflöde, akutfas	Tätning, helt eller delvis	Rtj-personal, extern expertis
	Uppsamling och invallning	Rtj-personal, extern expertis
	Impaktering	Rtj-personal, extern expertis
	Inertgas	Rtj-personal, extern expertis
Utflöde, återställningsfas	Överpumpning	Rtj-personal, extern expertis
	Sanering	Rtj-personal, extern expertis
Transportbehållare, återställningsfas	Överpumpning	Rtj-personal, extern expertis
	Avfackling av brännbar gas	Rtj-personal, extern expertis
	Bärgning av fordon och behållare	Storbilsbärgare, mobilkran
Omvärld	Viktigt meddelande (VMA)	SOS, Bakre stab
	Pressinformation	RL, Bakre stab
	Utrymning/inrymning hotade personer	Polis
	Omhändertagande av utrymda personer	Bakre stab, socialtjänst

Tabell 2.2: Exempel på uppgifter och metoder i olyckans olika domäner (delområden).

I samband med att extern personal ska arbeta på olycksplatsen måste räddningstjänsten ta på sig rollen att ansvara för arbetsmiljön och se till att alla arbetar på ett säkert sätt. Exempel på räddningsledarens uppgifter är att kontrollera att utrustningen förses med tillfredställande potentialutjämning samt hur den externa personalen har tänkt sig att avluftning av kärl ska fungera m m. Det finns flera exempel på när giftiga ämnen kommit ut i luften därför att den externa expertisen inte tagit tillräcklig hänsyn till riskerna vid avluftningen vid överpumpning.

Viktigt är också att all personal respekterar zonindelningar av olycksplatsen (avspärningar, het och varm zon, etc) och att undantag från skyddsnivån endast sker efter räddningsledarens restriktiva godkännande.

Som synes finns ett stort antal uppgifter i samband med stora kemikalieolyckor som kräver god kunskap och färdighet hos personalen.

Alla de metoder och den utrustning som tas upp i denna skrift kan inte alla kommuner själva förväntas behärska eller inneha. Det krävs ett samarbete över kommungränserna och resurserna måste kunna byggas upp gradvis. Här förutsätts att följande resursuppbyggnad finns tillgänglig för räddningsledaren vid en större kemikalieolycka:

1. Kommunal grundberedskap – Förstabilen
2. Kommunal grundberedskap – Kemslop eller liknande
3. Regional samverkansresurs
4. Statlig kemresurs

Bild 2.3 visar lämplig omfattning på utrustning som bör finnas tillgänglig på kommunens förstabil, som direkt kan rycka ut till en olycksplats där det inträffat en kemikalieolycka. Här ingår utrustning för inledande uppsamling, splashskydd och utrustning för att täta eller minska omfattningen på enklare läckage.



Bild 2.3: Exempel på utrustning för kemikalieolyckor på förstabilen. (Bild: Hylander)



Bild 2.4: Statlig kemresurs placerad i Perstorp (Bild: Hylander)

I den kommunala grundberedskapen ingår utrustning för att i första hand livrädda, avspärra och om möjligt begränsa skadans utbredning. Det blir sannolikt även deras uppgift att ansvara för säkerheten på olycksplatsen med beredskap för brand etc. Mindre olyckor bör varje kommun själva kunna hantera fullt ut. Det kommunala riskhanteringsarbetet kan också peka på behov av speciell utrustning och kompetens på denna nivå.

Regional samverkansresurs bör byggas upp av flera kommuner för att klara av uppgifter vid något större olyckor. Det kan vara överpumpningsuppdrag, stöd till räddningsledaren med kompetens inom taktik och metoder etc.

De statliga kemresurerna (bild 2.4) finns idag på sju ställen i landet. Här finns utrustning som kan behövas vid längre eller speciella insatser såsom ex-klassad skadeplatsbelysning, fyrhjulig motorcykel, 20 m³ tank etc.

2.4 Utflöde

Centralt i en olycka med farligt gods är det eventuella utflödet av farliga ämnen. Två huvudtyper av utflöde kan observeras: *vätskeutflöde* och *gasutströmning*. Vid utsläpp av kondenserade gaser beror utflödet på om hålet är beläget ovan eller under vätskenivån i kärlet. Är hålet beläget i vätskefasen sker i huvudsak en vätskeutströmning som till viss del kan *flasha*, vilket innebär att en viss

mängd momentant övergår till gasfas. Utsläpp av tryckkondenserade gaser sprids initialt i en jet vars längd styrs av trycket i tanken. Därefter övergår utsläppet eventuellt till en tunggasspridning och därefter till passiv spridning med vinden.

Den mängd kemikalie som släpps ut per tidsenhet brukar kallas för utsläppets *källstyrka* och anges ofta i kg/s. Flera faktorer bidrar till hur stor källstyrkan blir men de viktigaste är hålets area, trycket i tanken och ämnets densitet. En viktig del i tryckparametern är det tryck som vätskepelarens höjd ovan hålet skapar. Även hålets utformning påverkar källstyrkan. Ett hål med runda fina kanter ger ett större utsläpp än ett hål med skarpa, ojämna kanter.

När utsläpp av vätskor når marken beror pölens utbredning främst på markens lutning, fysiska hinder, markens bindningsförmåga för vätskor samt ämnets viskositet och ytspänning. Vid ett vätskeutflöde kan förångning av ämnet (avdunstning) ske i varierande omfattning. En flyktig vätska kan från en bildad vätskepöl ge ifrån sig en avsevärd gasmolnsspridning av det farliga ämnet även om ämnet är under sin kokpunkt. Avdunstningen påverkas av pölarean samt ämnets ångtryck vid rådande temperatur.

3 Invallning och uppsamling

Detta kapitel behandlar främst de ämnen där de rekommenderade åtgärderna i Farligt Gods-korten är att täcka vätskepölar med presenning och valla in samt täta brunnar, kulvertar etc.

Invallning är en åtgärd av största betydelse vid många olyckor med vätskeformiga kemikalier. Den har till uppgift att begränsa vätskans utbredning och därmed i vissa fall också begränsa gasavgivningen. Det är alltså ofta av stor vikt att invallning eller uppsamling snabbt kommer till stånd.

3.1 Avledning

Vid ett läckage av brandfarliga vätskor kan det ibland vara viktigt att hindra vätskan från att falla i en fri stråle då en uppladdning av molekyler i undantagsfall skulle kunna skapa tillräckligt hög urladdningsenergi för att antända vätskan. Det är då bra att avleda fallet via någon form av utrustning. Det enklaste sättet kan vara två hopspikade plankor som fungerar som en ränna och avleder kemikalien ner mot ett uppsamlingskärl. Observera dock att trä har dålig kemikalieresistens och att organiska material i vissa fall kan orsaka självantändning eller avgång av giftiga gaser.

Om förhållandena på skadeplatsen är sådana att behov finns att i större omfattning styra kemikalieflödet kan anordningar för avledning skapas med hjälp av stegar, presenningar, speciella rännor etc.

3.2 Inledande uppsamling

Den första åtgärden vid ett läckage är normalt att placera ett kärl under läckan för att samla upp så stor del av läckaget som möjligt, se bild 3.1. Det är en snabb åtgärd som skapar tidsutrymme för noggrannare invallning eller förberedelser för en omsorgsfull och effektiv tätning.

De kanske historiskt vanligaste uppsamlingskärlen utgörs av så kallade självresande kar och fälttankar. De är tillverkade av mjuk plast och är därmed lätta att vika ihop så att

de upptar liten lagringsvolym. Karen finns i volymer från 1 500 till 10 000 liter. Förutom dessa mjuka kärl förekommer styva behållare tillverkade i olika sorters plast.

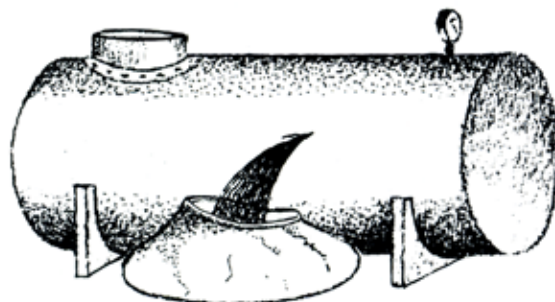


Bild 3.1: Att ställa en behållare under läckan är det första man bör göra för att begränsa läckaget - sedan kan man börja invalla eller täta.

Dessa behållare kan ofta hämtas från kemikalieindustrier där de kan fås till låg kostnad.

På grund av sin volym kan de vara svåra att förvara på brandfordon. Ett undantag är de styva kärl som kan staplas i varandra och ge en sammanlagd volym om ca 1 000 liter och kan stuvas på ett räddningsfordon.



Bild 3.2: Uppfällbart uppsamlingskar på 10 m³ (Bilder: Hylander).

Ett kärl för uppsamling är FASTTANK som visas på bild 3.2. Kärlet reses med en aluminiumställning och rymmer cirka 10m³.

Exempel på självresande och självstadgande kärl visas på bild 3.3. Det vänstra kärlet reses med hjälp av tryckluft (arbetstryck runt 0,5 bar) och det högra kärlet är självresande när vätska pumpas in i kärlet.



Bild 3.3: Självstadgande kärl för kemikalieuppsamling (Bilder: Vetter GmbH och Savatech corp).

Resningen av dessa kärl tar maximalt en minut, är tillverkade i polyester, belagda med PVC och kan användas till ett stort antal kemikalier samt förorenat släckvatten, oljespill etc. Det finns dock relativt stor risk att de börjar läcka i sömmar på grund av att de har åldrats, används till fel kemikalier eller har förvarats dåligt rengjorda.

På marknaden finns olika storlekar och modeller. I arbetet med denna skrift identifierades modeller på 3m³ och 5m³ där höjden i rest tillstånd är cirka 1 meter och diametern drygt 2,5 meter.

Karens resistens försämras vid lagring då mjukgöraren frigörs från plasten och karen

blir spröda och styva. En annan nackdel är att de är ganska skrymmande i nedpackat tillstånd och därför kan vara svåra att få med sig i ett tidigt skede, när första styrkan larmas till olycksplatsen. Istället kan mindre staplingsbara behållare i polypropen (PP) vara lämpliga att medföra för att placera under läckaget i ett tidigt skede.

De självresande karen tillverkas normalt i PVC-plast med tjocklek från 650 till 2 000 g/m². I nyskick är de beständiga mot de flesta kemikalier i åtminstone tre timmar. Vid förvaring av syror kan karen bli styva, lösningsmedel kan göra dem mjuka medan alkalier inte påverkar dem i nämnvärd grad. Vid förvaring av vätskor med hög densitet (över 1 500 kg/m³) bör man inte fylla karen helt eftersom de kan rämna på grund av trycket. När karet har tömts på kemikalier bör det kasseras och ersättas eftersom ett använt kärl kan ha reducerad förvaringstid och det inte är säkert att det fungerar som avsett vid nästa tillfälle ett uppsamlingskärl behövs.

Eftersom PVC-kärlen vid kemikalieolyckor bör betraktas som engångsartiklar är kvalitetsvalet snarast en fråga om hur snabbt man kan få fram mer beständiga kärl till olycksplatsen.

Frekvent användning och test av uppfällningsbara och självresande kar med vatten är en nödvändighet eftersom man därmed får en kontinuerlig kontroll över deras status. Det imponerar föga att samla upp vätska i ett läckande kärl.



Bild 3.4: ADR godkända uppsamlingskärl (Bilder: Hylander och Räddningsverket).

Flertalet självresande kar är försedda med en normalkoppling och lock. Det är en dålig lösning. För att man ska kunna koppla

loss eller på en slang när karet är fyllt med vätska ska karet givetvis vara försett med en ventil och kopplingarna ska vara tillverkade i elektriskt ledande material.

Även andra typer av kärl kan användas för inledande uppsamling, se bild 3.4. Vanliga ringlåsfat används dagligen i industrin och är användbara även vid kemikalieolyckor.

3.3 Invallning med slang, jord, torv och sand

En metod för invallning är att lägga en grov slang runt vätskan och fylla slangen med vatten från brandfordon. Man får inte fylla slangen med för mycket vatten, eftersom den då blir styv och inte kan följa underlagets ojämnheter. Trots detta kommer slangen att släppa igenom vätska. Detta förhindras emellertid bäst med sand, grus, jord, torv, sorptionsmedel eller dylikt. Det är mycket viktigt att de material som kommer i kontakt med kemikalien är inerta och inte reagerar med kemikalien! Ett exempel är att läckande väteperoxid kan orsaka självantändning i organiska material som torv eller jord.

Ibland kan metoden behöva kompletteras med en presenning för att minska vätskans infiltration ned i marken.

Andra metoder för invallning är att enbart lägga en sträng av sand eller jord runt läckageplatsen. Effekten är helt beroende på tillgången av lämpligt material och på årstiden. Det finns även anpassad utrustning för att skapa tillfälliga invallningar liksom speciella ”invallningsormar” som kan användas på ungefär samma sätt som en grov slang.

När ett vätskeflöde i ett dike ska begränsas görs detta bäst genom att nedströms (och även uppströms för att minska vattenflödet) lägga en barriär av sorptionsmedel, sand, jord, snö eller liknande.

Vid invallning är det ofta önskvärt att täcka den invallade kemikalien med en presenning för att minska avgasning från flyktiga ämnen.

3.4 Tätning av brunnar

För att förhindra en vätska att rinna ner i ett tunnelsystem måste alla berörda öppningar till systemet tätas. Dessa öppningar kan bestå av golv- och gatubrunnar till avloppssystemet eller durktäckta nedstigningsöppningar till kabelkultvertar m m.



3.4.1 Avloppslock (spärrskivor)

På marknaden finns avloppslock (spärrskivor) som kan användas för att täta de vanligaste brunnstyperna. Ofta består de av en metallskiva som är försedd med tätningslist. Avloppslocks egen tyngd ska räcka till för att ge ett tättslutande lock så att ingen vätska kan tränga ned i brunnen. Ibland förekommer en del ojämnheter i asfalten varför det kan krävas en del sand för att få en tät tätning. En populär brunnstätare kallad Tättingen visas på bild 3.5. Tätaren finns i två storlekar.



Bild 3.5: Brunnstätare typ Tättingen från Brissmans (Bild: Brissmans Brandredskap).

3.4.2 Självresande vattenfyllda kar

Den enklaste och billigaste metoden är att ställa en brunnstätare av typ självresande kar över brunnen och fylla karet med vatten, vilket visas på bild 3.6.



Bild 3.6: Två typer av brunnstätare.

Dessa självresande kar tillverkas i PVC-plast och är en begränsad tid resistent mot flertalet kemikalier.

Den bästa tätningen fås med den typ som fylls ovanifrån och bildar högsta vattenhöjd om cirka 40 cm. En annan typ av tätare fylls från sidan och bildar knappt 20 cm vattenhöjd vilket ger sämre tätningseffekt. Ett gemensamt krav är att brunnstätarens plastmaterial är mjukt och följsamt. Den tätningsmässigt bästa brunnstätaren har visat en tydlig tendens att spricka i de svetsade sömmarna, framför allt beroende på dålig köldresistens.

3.4.3 Brunnstätare med tryckluft

Brunnar kan även tätas med brunnstätare som fylls med tryckluft. När rörtätaren ska användas i en gatubrunn ska locket först tas bort och tätaren stoppas ned, se bild 3.7.

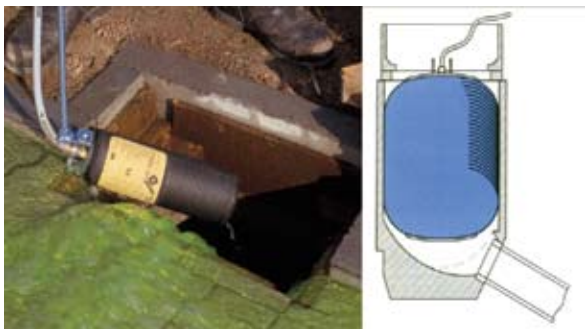


Bild 3.7: Tätning av gatubrunn (Bilder: Vetter GmbH).

Om det är möjligt är det lämpligt att placera rörtätaren något djupare i brunnen för att skapa en liten pumpgröp som kan användas för att pumpa upp kemikalien. Brunnen är ofta den lägsta punkten och utsläppet kommer då att rinna ned mot denna. Att tänka på vid pumpning ifrån en sådan skapad pumpgröp är att man kan råka komma åt slangar och

kopplingar med sug silen vilket kan leda till att tätaren inte sluter tätt eller att stänk uppstår då en luftslang lossnar. Skyddsglasögon ska därför alltid användas!

För att skydda tätaren kan den kläs in i polypropenplast (PP). Detta kan vara särskilt lämpligt vid frätande ämnen, t ex saltsyra (HCl). Främst är det då kopplingar i mässing som snabbt angrips om de inte är skyddade med plast eller utbytta mot syrafasta kopplingar.

Tätaren och manöverorganet ansluts till vardera ändan av ena tryckluftslangen samtidigt som man kontrollerar att säkerhetsventilen är stängd. Efter detta ansluter man reduceringsventilen till luftbehållaren och kontrollerar att rätt sekundärtryck är inställt, sedan stänger man behållarventilen och kopplar ihop reduceringsventil och manöverorgan med den återstående tryckluftslangen. Nu kan luftbehållarventilen öppnas och manöverventilen sakta öppnas för att fylla rörtätaren.

Vetters stora brunnstätare kan användas när brunnens diameter är mellan 30 och 50 cm. Även mindre utrustning finns för att sticka in i brunnsröret då diametern på detta är från 10 till 30 cm, se bild 3.8.

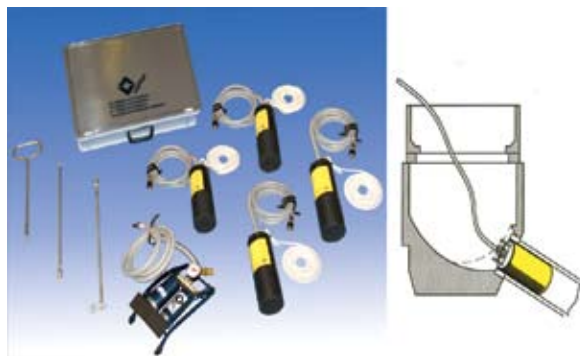


Bild 3.8: Utrustning för mindre brunnsrör (Bilder: Vetter GmbH).

Vid inköp av brunnstätare ska man komma ihåg att man bör klara av att täta minst två brunnar på varje sida av vägen vilket gör att fyra tätare behövs. Till detta kommer att flera olika storlekar kan vara nödvändiga. För att manövrera dessa krävs att man har flera luftslangar i beredskap och eventuellt två manöverenheter.

4 Tätning

Detta kapitel är främst kopplat till de ämnen där de rekommenderade åtgärderna i Farligt Gods-korten är att om möjligt tätta eller stänga av läckaget.

Detta kapitel ger teoretiska och praktiska anvisningar om metoder för tätning av olika typer av hål i samband med olyckor med kemikalier. Avsnittet behandlar tätning av cisterner, rör och flänsar. Beskriver i dag befintlig utrustning, med fördelar och nackdelar vid praktiskt arbete samt exempel på hur arbetet kan utföras. Vissa delar av kapitlet är hämtat ur kompendiet "Tätning och Invallning" (1987).

4.1 Kilar och proppar

För tätning av mindre hål eller temporärt i ett inledande skede av en räddningsinsats är tätning med kilar och proppar en billig och mångsidig metod. Här har en indelning gjorts efter material – där trä, teflon och polypropen är de vanligaste. Kilar och proppar kan kompletteras med ytterligare tätningsmaterial som tätningstejp (densotejp), formgummi eller tätningspasta för att få ett tätare förband.

Användningen av proppar och kilar begränsas främst av om hålet är för stort eller om trycket i tanken är för högt (> 1 bar).

4.1.1 Trä

Träkil och densotejp är billiga och mångsidiga tätningsmedel lämpliga för mindre hål, se bild 4.1. Kilen kan med hjälp av en yxa lätt huggas till lämplig form och densotejpen tätar de mindre springor som uppstår. Kilen ska drivas i med kraft, dock inte så stor att det finns risk för sprickbildning på cisternen.

Vid användning av träkilar ska kilar av lövträ (hårt träslag) användas på tunnväggiga cisterner så att väggen formas efter kilen. Vid tjockväggiga cisterner bör istället barrträkil (mjukare träslag) användas så att kilen formas efter hålet.

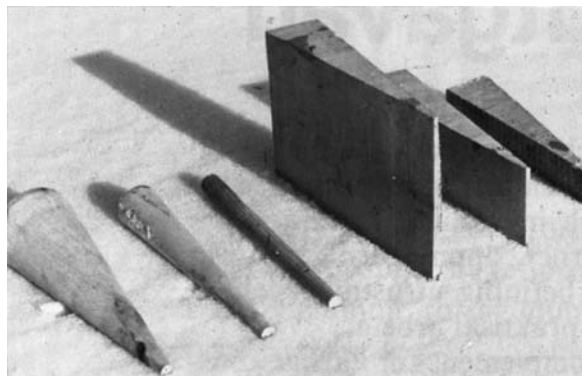


Bild 4.1: Träkilar i olika storlek och form

För att få en god tätning kan träkilen kompletteras med densotejp eller med formgummi. Det är av stor vikt att densotejpen läggs på ett riktigt sätt i flera lager över kilens spets så att tejpen inte krängs av vid islagningen, se bild 4.2.

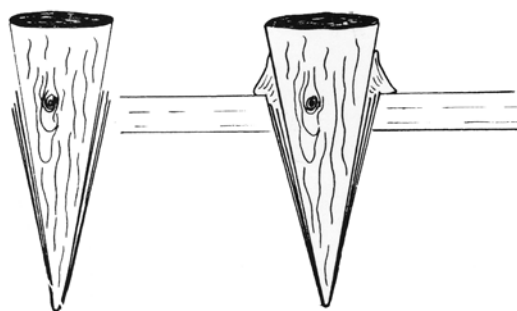


Bild 4.2: Densotejpen ska läggas i flera lager över kilens spets. Tejpen ska sedan pressas ihop runt kilen.

Träkilar kan utan större problem användas vid många kemikalieläckage. De kan emellertid angripas av vissa kemikalier – t ex svavelsyra och salpetersyra – och fungerar då som en kortvarig tätning.

Vid läckage av oleum och rykande salpetersyra är träkilen direkt olämplig som tätningsmaterial. Den gasbildning som kan uppstå vid tätning av en cistern som innehåller svavelsyra och salpetersyra av lägre koncentration är dock så liten att någon hänsyn till gaserna normalt inte behöver tas.



Bild 4.3: *Dåligt tilltyxad kil utan densotejp*

Bild 4.3 visar en tätning med dåligt tilltyxad kil som inte är försedd med densotejp. Trots dessa brister har det ursprungliga läckaget reducerats avsevärt och detta snabba förband kan användas som första begränsning i avvaktan på en bättre tätning.

När man erhållit ett tätt förband med träkil är det lämpligt att såga av kilen för att minska risken att kilen av misstag slås bort. Man kan vidare säkra en avsågad träkil genom att lägga neoprengummi närmast kilen och placera en lastspännare över detta. Observera att kilen vid höga tryck i tanken kan flyga ur innan man hunnit förankra den och att det då finns risk för skador.

Träkilar kan även kompletteras med formgummi, vilket visas på bild 4.4. Denna typ av gummi utgör ett komplement till andra tätningsmedel och kan användas tillsammans med träkil men har något sämre tätningsförmåga än densotejp. Formgummit följer inte med träkilen genom hålet utan rullar upp sig utanför detta, vilket medför ett visst läckage mellan cisternytan och formgummit.



Bild 4.4: *Formgummi och träkil*

4.1.2 Teflon och polypropylen

Ibland kan det vara lämpligt att ha proppar och kilar till hands med bättre kemikalieresis-

tens än vad trämaterialiet erbjuder. För detta ändamål finns främst proppar i polytetrafluoretylen (PTFE, teflon) och polypropylen (PP).

Teflon är ett material som, till skillnad från trä, utmärks av stor resistens mot flertalet kemikalier. Av detta skäl tillverkas kilar och proppar i teflon för användning i tätningssammanhang, se bild 4.5. Eftersom materielkostnaden för dessa proppar är hög blir priset för en teflonkil cirka tjugo gånger så högt som för en träkil.

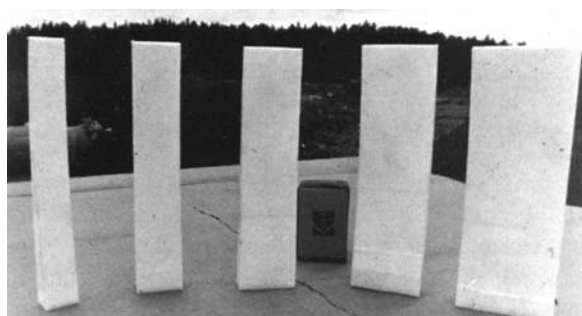


Bild 4.5: *Tätningsskilar av teflon*

Ur tätningssynpunkt är teflon ofta ett något för hårt material, varför indrivning i en läcka kan försvåras av att kilen inte deformeras. Propparna har därför försetts med gängor och en urfasning för skiftnyckelgrepp, se bild 4.6. De gängor som finns på propparna hjälper till att hålla proppen kvar i hålet. Däremot torde proppen sällan kunna gängas in med hjälp av skiftnyckel.

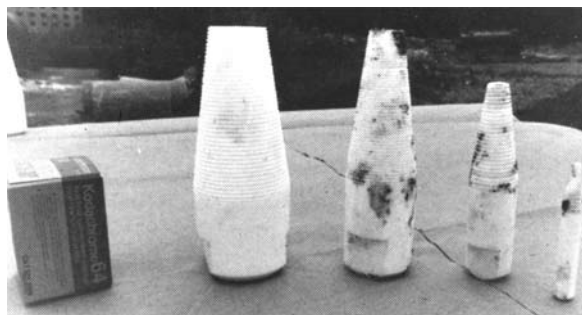


Bild 4.6: *Tätningsproppar med gängor och urfasning för skiftnyckelgrepp (jämför propparnas storlek med filmförpackningen)*

Teflonens hårdhet och låga friktionskoefficient är ofta en stor nackdel vid indrivning. Detta gäller såväl kilens förmåga att anpassa sin form efter läckan som kilens egenskaper

att sitta kvar i hålet efter indrivning. Ett bättre alternativ är därför ofta proppar av polypropen (PP) som är mjukare än teflon och har i princip samma goda kemikalieresistens. Exempel på sådana proppar visas på bild 4.7. Observera att dessa är försedda med svarvade skåror för ökad verkningsgrad.

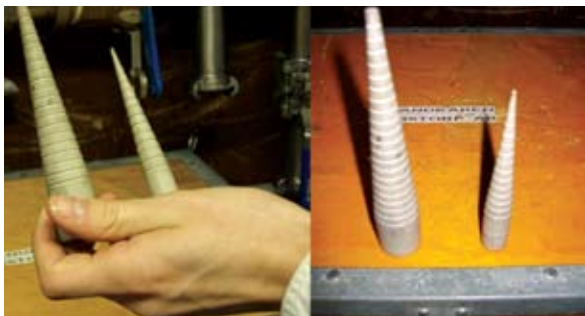


Bild 4.7: Tätningproppar av polypropen (PP) (Bilder: ØSA)

När kilarna eller propparna inte passar läckaget finns möjlighet att med tätningstejp (densotejp) eller tätningspasta förbättra tätningen eller att med en kniv forma kilen efter läckageöppningen.

4.1.3 Expanderbara pluggar

På marknaden finns även en del expanderbara gummipluggar i olika utföranden. Principen för en expanderbar gummiplugg visas på bild 4.8. Här visas också metoden att med speciell utrustning anbringa pluggar med plastskum.

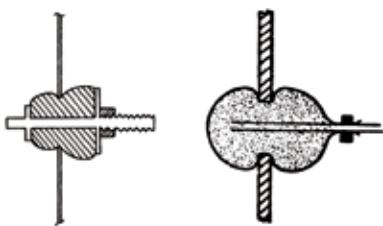


Bild 4.8: Expanderbar gummiplugg och plugg med plastskum (Bilder: Kustbevakningen)

4.1.4 Pneumatiska pluggar

I vissa sammanhang kan det vara lämpligt att använda pneumatiska pluggar, se bild 4.9.

Dessa kan med hjälp av tryckluft expanderas så att de fyller ut hålet och får en god förmåga att sitta kvar.



Bild 4.9: Pneumatiska pluggar (Bild: Vetter GmbH)

4.2 Spännband och skivor

En enkel, billig och mångsidig tätningsmetod är att placera olika skivor på läckagestället och spänna fast dessa mot läckaget med hjälp av lastspännare. Närmast läckaget placeras lämpligen en skiva av neoprengummi och över den en rostfri plåt (0,5 - 1 mm). Den rostfria plåten kan ersättas med aluminium (1,5 mm), men då finns risk för att vätgas utvecklas vid kontakt med starka syror samt att förbandet får en mycket dålig resistens mot natriumhydroxid (lut). Även träfaner är möjligt att använda men det ger också en mycket dålig kemikalieresistens och kan i vissa fall orsaka självantändning (t ex i kontakt med stark väteperoxid) eller bilda nitrosera gaser (vid kontakt med salpetersyra).

För att hålla fast förbandet på cisternen läggs två stycken lastspännare runt den och dras åt med största möjliga handkraft. På detta vis kan man täta hål med mycket varierande storlek och form. Denna typ av tätande förband visas på bild 4.10.

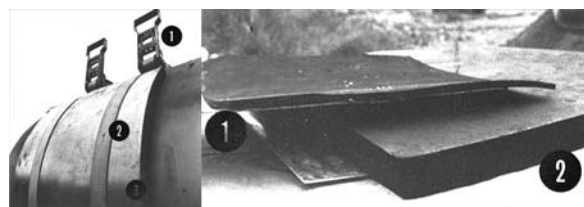


Bild 4.10: tv. 1) Lastspännare, 2) Rostfri plåt, 3) Neoprengummi th. Gummiskivor: 1) 6 mm, 2) 20 mm

Lastspännarna ska placeras vid hålets eller inbuktningens ytterkanter för bästa tätning. Denna tätningsmetod kan inte motstå högre

tryck än cirka 120 kPa. Om man lägger en extra gummibit närmast läckan, i likhet med ett tryckförband, förbättras tätningen ytterligare.

Problem kan uppstå om hålet har trasiga kanter som är utåtriktade. Dessa måste före tätning jämnas till så att gummiskivan ligger väl an mot cisternens yta.

Beroende på läckagets utformning kan olika tjocka gummiskivor användas. Den tunnaste användbara tjockleken är cirka 6 mm och den tjockaste 20 mm, se bild 4.11. Vid släta ytor används med fördel den tunna gummiskivan och vid ojämna ytor är den tjocka att föredra. Vid mycket råa och såriga ytor kan man med fördel använda hoplimmade gummiskivor som är 40 mm tjocka upptill.

Valet av neopren som gummimaterial borgar för stor resistens mot kemikalier. Om tätningsmaterielet används felaktigt eller hålets utformning är olämpligt för denna tätningsmetod uppstår vätskeläckage främst vid gummiskivans övre och nedre sida som inte hålls fast av lastspännare. I detta fall ska man lägga ytterligare ett antal lastspännare över tätningen för att försöka täcka de läckande sidorna.

Denna tätningsmetod kan med fördel kompletteras med en bit formgummi som appliceras närmast hålet eller i en cirkel runt hålet. Ovanpå formgummibiten läggs neoprengummi och plåtskivan. Detta sätts sedan fast med två lastspännare. För att få maximal tätning kan man fästa ytterligare en lastspännare rakt över hålet för att pressa fast formgummit.

Lastspännare förekommer i en mängd varianter och kan köpas till låga priser. De krav som bör ställas är att handtagets bredd ska vara så stor att en hel hand väl ryms. Bandet ska vara av sådant material att det verkar vätskeavstötande och pumphandtagets längd ska vara väl tilltagen (cirka 20 cm) för att få en så stor kraft som möjligt. En lämplig lastspännare visas på bild 4.11.

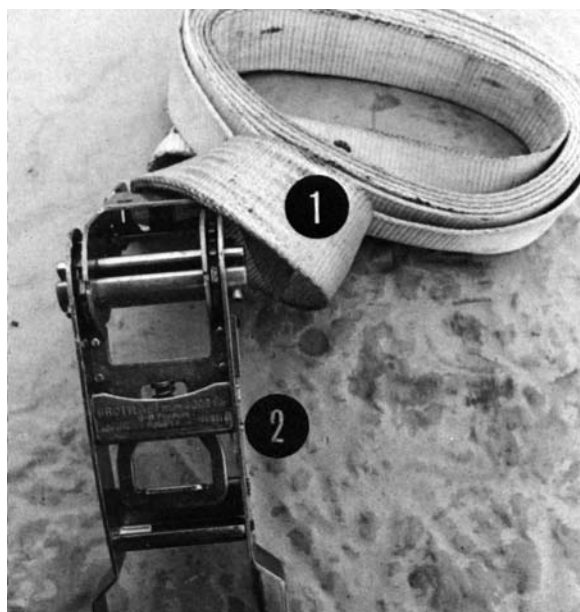


Bild 4.11: 1) Vätskeavstötande, 2) Längd 220 mm, 3) Bredd 100 mm

Bandets surrningsstyrka har ingen betydelse vid denna tätningsmetod men i de fall neoprengummit och plåten ersätts med en lyftkudde ska bandets surrningsstyrka uppgå till minst 140 000 N.

4.3 Tätningstvingar

Tätningstvingar har använts sedan länge. De består av en skruv som är försedd med en fällbar hake i ena änden. På skruven kan tätningsplattor i olika storlek och format fästas, se bild 4.12.



Bild 4.12: Tätningstving med specialformade tätningsplattor avsedda för kant, plan yta och hörn.

Tätningsplattorna består av neoprengummi och är limmade på en aluminiumplåt. När den vingmutter som sitter på skruven skruvas inåt kommer tätningsplattan att pressas mot läckagestället. Principen visas på bild 4.13.



Bild 4.13: Funktionen hos en tätningstving (Bild: Kustbevakningen)

Tätningstvingar är ett billigt tätningsmedel och de är lätta att applicera. De har emellertid vissa svagheter. Genomföringen av skruven genom tätningsplattorna sluter sällan tätt och det uppstår ofta läckor vid plattornas ytterkanter. Detta beror på att hålet sällan är lika jämnt som plattan utan att det förekommer inbuktningar. Detta läckage kan avhjälpas med en sträng densotejp eller formgummi runt tätningsplattans insida. Notera också att vissa syror kan angripa metalldelarna.

När densotejp nyttjas ska fällhaken göras ren efter användandet, eftersom tejpens orsakar att haken kärvar och det blir svårt att både applicera och ta bort tätningstvingen. Om man lindar densotejp eller lägger formgummi runt skruven innanför plattan så får man ett tryckförband med extra bra tätningseffekt.

I vissa fall kan skarpa hörn och kanter vara svåra att täta med andra tätningsmetoder och de specialformade tätningsplattorna är då ett bra alternativ.

4.4 Tätningskuddar

I samband med läckor där hålet är relativt stort (över cirka 20 x 10 cm) är nämnda metoder sällan lämpliga. Då är en specialanpassad tätningskudde att föredra. Dessa finns av ett antal fabrikat varav två presenteras nedan.

4.4.1 Vetter

Tätningskudde av den tyska tillverkaren Manfred Vetter GmbH & Comp visas på bild 4.14 - 4.15 och består av följande delar:

- 1) Manöverorgan bestående av manöverenhet, manöverventil, säkerhetsventil och manometrar
- 2) Reduceringsventil med slang

- 3) Nylonarmerad tätningskudde med arbetstryck på 150 kPa eller 1000 kPa. Kudden är försedd med dragöglor för lastspännare

- 4) Två tryckluftslangar

- 5) Fyra lastspännare

- 6) Tätningsplatta



Bild 4.14: Tätningskudde fastgjord med lastspännare och fylld till 150 kPa.



Bild 4.15: Tätningskudde typ Vetter (Bilder: Vetter GmbH)

Tätningskuddens tätande yta är cirka 50 x 30 cm och utrustningen finns i två utföranden. En med arbetstrycket 1,5 bar (150 kPa) som kan användas vid ett mottryck i tanken på upp till 1,4 bar (140 kPa) och en med ett arbetstryck på 10 bar (1 000 kPa) som kan användas vid ett mottryck på upp till 9,8 bar (980 kPa). Det lägre arbetstrycket är att föredra på tunnväggiga cisterner då ett högt tryck riskerar att deformera cisternväggen.

Detta tätningssystem, som arbetar med tryckluft, ger oftast helt täta förband och kan användas på buktiga ytor och kanter. På stora plana ytor eller buktiga ytor med stor radie kan man komplettera metoden med att lägga tråklossar och neoprengummi mellan cisternen och kudden. På det viset kan kudden få en större kraft som är riktad mot cisternen och därmed tätar förbandet bättre.



Bild 4.16: Tryckluftsförslutningsmanöverenhet (Bild t h Vetter GmbH)

Vid allt arbete med tryckluft, bild 4.16, är det väsentligt att bruksanvisningen för tätningsskuddarna följs noga så att personsäkerheten inte riskeras. Det kan ibland vara en fördel att placera manöverenheten för tryckluftssystemet en bit ifrån läckaget för att kunna manövrera det utan full skyddsnivå. Det är därför viktigt att medföra tillräckligt mycket luftslang för att skapa en frihet att anpassa tryckluftssystemet efter situationen på skadeplatsen.

4.4.2 Sava

En annan tillverkare – Savatech corp – erbjuder utrustning som påminner om den föregående.

Denna utrustning är avsedd att användas vid arbetstrycket 1,5 bar och kan i likhet med Vetters lågtryckssystem även manövreras med en fotdriven pump. En kortfattad teknisk beskrivning återfinns i tabell 4.1.

Modell	M1	M2
Dimensioner	62 × 30 × 2 cm	62 × 30 × 2 cm
Tätningssyta	45 × 23,5 cm	45 × 23,5 cm
Arbetsstryck	1,5 bar	1,5 bar
Tätningstryck	1,4 bar	1,4 bar
Volym	20 liter	20 liter
Vikt	4,8 kg	6,2 kg

Tabell 4.1: Tekniska data för tätningsskudde från Savatech corp

4.5 Avtappningskudde

Ibland kan det vara en fördel att placera en speciell avtappningskudde över läckaget, se bild 4.17. En sådan kudde påminner om de tidigare men är försedd med en sarg så att vätskan från läckaget kan samlas upp.



Bild 4.17: Avtappningskudde (Bilder: Vetter GmbH).

Från uppsamlingsutrymmet finns slanganslutning för att under kontrollerade former tappa av vätska. Utrustningen lämpar sig bäst för låga flöden. Det är en stor fördel att använda formstyv slang från uppsamlingskudden. Eventuellt kan en mindre pump behöva anslutas.

Det finns även avtappningskuddar som appliceras över läckaget med hjälp av vakuum. Dessa är ofta försedda med ett flertal sugkoppar och fördelen är att de inte kräver spännband runt det läckande kärlet.

För att fästa ordentligt kräver de dock rena, släta ytor som inte får ha för brant kurvatur. Dessa förhållanden kan inte förväntas vid olyckor och det uppstår ofta problem med att få utrustningen att fästa ordentligt. Sådana kuddar rekommenderas därför inte.

4.6 Lyftkudde och lastspännare

Som alternativ till specialanpassade tätningsskuddar finns ytterligare en tätningsskudde där man använder en pneumatisk lyftkudde och lastspännare. Vid val av lyftkudde får man ta hänsyn till läckans utformning och kärlets storlek. Lyftkuddar finns i många olika utföranden och format, se bild 4.18.



Bild 4.18: Lyftkuddar av högtryckstyp i olika storlekar av märket Sava (Bild: Savatech corp)

Man kan antingen välja en kudde av lågtryckstyp (ca 100 -150 kPa) eller en kudde av högtryckstyp (600 - 800 kPa). Leverantörer av sådana lyftkuddar är Lampe, Vetter GmbH, Savatech corp m fl.

På cisterner med liten omkrets är det bättre att använda lågtryckskuddar än högtryckskuddar eftersom högtryckskuddarna blir alltför styva och därmed får en liten anläggningsyta. När man använder lågtryckskuddar fäster man lastspännarna på normalt sätt.

Kudden kan vanligtvis utan problem fyllas till sitt maximala tryck. Kontrollera dock under fyllning att kudden inte glider ur lastspännarnas grepp. När tätning har erhållits stoppas luftfyllningen. Vid arbete på större cisterner, läckor med skarpa kanter eller cisterner med höga tryck är en lyftkudde av högtryckstyp att föredra. Högtryckskudden manövreras med tryckluft.

Kudden handhas enligt sin bruksanvisning och lastspännarna sätts som tidigare nämnts. På särskilt råa och såriga ytor kan man med fördel komplettera med en skiva av neoprengummi.

Vid val av högtryckskudde ska man tänka på att kuddens lyftkapacitet står i proportion till lastspännarnas draghållfasthet och den utbuktningensvinkel som lastspännarna erhåller, se bild 4.19.

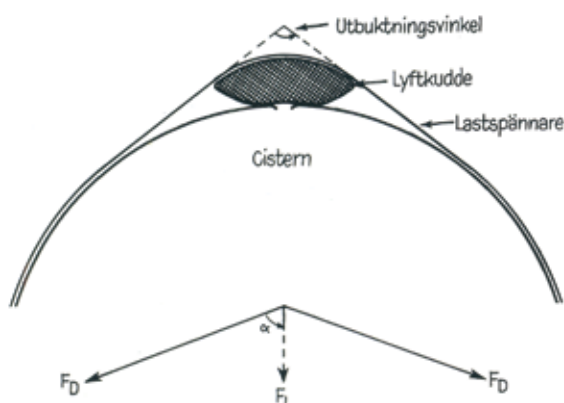


Bild 4.19: Dragkraft i lastspännarna

Den totala dragkraften i lastspännarna, F_D , kan beräknas enligt:

$$F_D = \frac{F_L}{\cos \alpha}$$

där

F_L = Kuddens lyftkraft (N)

F_D = Total dragkraft i lastspännarna (N)

$\cos \alpha$ = Halva utbuktningensvinkeln, enligt bild 4.19

Utbuktningensvinkeln varierar normalt mellan 150 och 170° vilket medför att $\cos \alpha$ varierar mellan 0,25 och 0,1.

Exempel:

En lyftkudde med en lyftkraft om 70 000 N hålls fast med lastspännare på en cistern. Utbuktningensvinkel är 160°

$$F_D = 70\,000 / \cos 80^\circ \approx 400\,000\text{ N}$$

Surrningsstyrkan för lastspännare uppgår normalt till 80 000 N varför man i detta exempel ska använda $400\,000 / 80\,000 = 5$ lastspännare. Vissa lastspännare har surrningsstyrka ända upp till 200 000 N, då hade det räckt med 2 stycken.

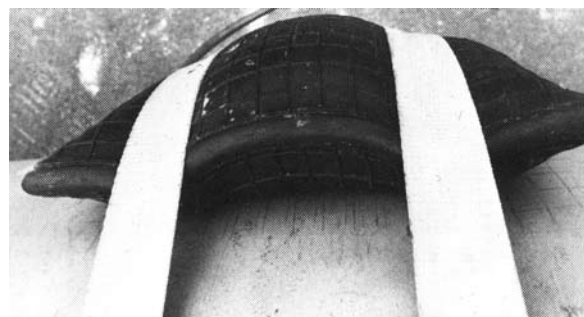


Bild 4.20: Lyftkudde fylld till 400 kPa. Belastningen på banden är ca 50 000 N

Det ska observeras att det inte helt sällan kan vara svårt att hindra spännbanden från att glida isär, speciellt vid läckage av oljiga produkter som är hala och har hög viskositet. Man ska vara noga att placera banden minst 15 cm från ytterkant och för att öka säkerheten kan man placera en plåt eller fanerskiva ovanpå kudden. Man bör alltid fästa med minst två lastspännare då enbart ett spänne ger en större risk att kudden kan skjuta iväg.

Vid användning av högtryckskuddar ska man alltid kontrollera att kuddens tryck inte orsakar sådan skada på cisternen att tätning omöjliggörs. Stor försiktighet ska också iakttas så att kudden inte glider ur lastspännarnas fäste. Så snart tätning har erhållits avslutas fyllningen av kudden.

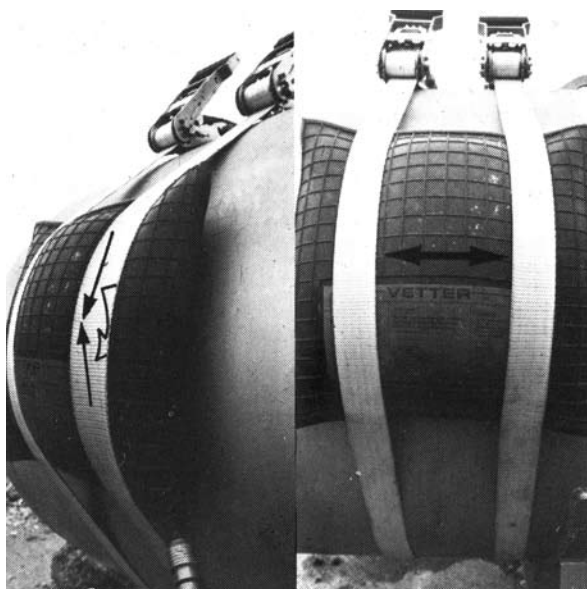


Bild 4.21: Lastspännarens vinkel över kudden är ca 150°

I samband med en klorolycka i Kanada hösten 1979 försökte man först täta läckan med kätting, björnspännare och träskivor. Detta blev inte tätt utan tätningen ersattes senare med ovan nämnda system, nämligen en högtryckskudde (400 000 N) och lastspännare, kompletterad med kätting. I sammanhanget ska nämnas att tätningen under de första dagarna omöjliggjordes pga intensiv hetta från en brinnande tankvagn fylld med gasol. Hålet i tanken var runt med en diameter av cirka 30 cm och var beläget nära ena tankgaveln. När tätningen med lyftkudde gjordes var läckan belägen i gasfasen och trycket i cisternen samma som i omgivningen. Det är inte känt vilket tryck cisternen uppnådde efter tätning.

4.7 Magnetiska tätningsmattor

Bild 4.22 visar magnetiska mattor som kan användas för tätning av hål i olika storlekar på kärl av magnetiska material. Observera att de vanligaste tankarna i syrafast stål inte är magnetiska och att antalet stålbehållare där utrustningen kan användas är begränsat.



Bild 4.22: Magnetiska tätningsmattor (Bild: Miko Marine AS)

Dukarnas egen magnetiska vidhäftning kan förstärkas genom att lösa kraftiga permanentmagneter placeras på lämpliga ställen utanpå dukarna.

Denna typ av utrustning används främst inom marin verksamhet, till exempel vid läckage på skrovet på ett lastfartyg. Den kan dock även användas på ståltankar, som visas på bild 4.23.



Bild 4.23: Användning av magnetiska tätningsmattor på ståltankar (Bild: Miko Marine AS)

4.8 Tryckvattenfylld brandslang

Att vira en brandslang om en läckande cistern, ett läckande rör etc, är en både enkel och materiellmässigt billig metod som visas på bild 4.24. Först bör en gummiskiva placeras på läckan innan ett dubbelt halvslag slås runt cisternen med en grovslang. Slangen måste dras åt hårt och varje varv bör överlappa cirka 1-2 cm. Efter omlindningen kopplar man slangens till brandpump eller vattenpost, varvid läckan tätas genom slangens expansion.

Även läckor med tryck upp emot 500 kPa kan reduceras med denna metod men resultatet beror mycket på hålets utformning och att slangarna inte glider isär. Metoden kräver övning och förväntningarna på resultatet är ofta osäkert, varför metoden bör ses som föråldrad och därför undvikas.

Vid hörn och kanter är metoden knappast möjlig att tillämpa. Det är vidare viktigt att beakta slangens kemikalieresistens.

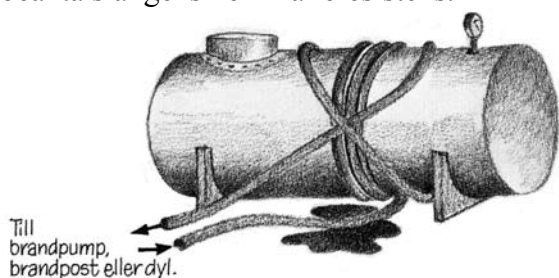


Bild 4.24: Tätning med tryckvattenfylld brandslang

4.9 Tätning av rör

Tätning av rör kan ske dels invändigt och dels utvändigt.

4.9.1 Invändig rörtätning

Rör kan tätas invändigt om inte trycket i röret är allt för högt. Till detta används pneumatisk rörtätare som fylls med tryckluft. Två olika storlekar på rörtätare visas på bild 4.25.

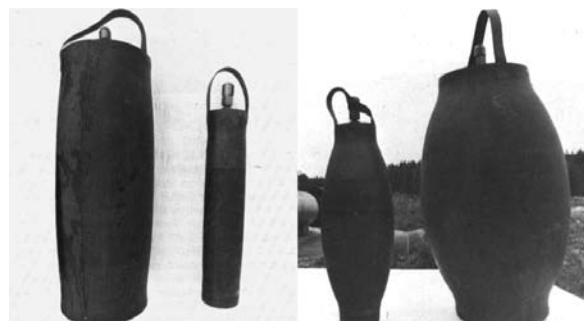


Bild 4.25: Rörtätare i två storlekar, 10/20 och 20/40

Tätarna visas dels ofyllda samt fyllda till cirka en tredjedel av maximalt arbetstryck. På bild 4.26 visas ytterligare storlekar och modeller från Manfred Vetter GmbH. Rörtätarna finns i storlekar från 7 cm upp till 200 cm.



Bild 4.26: Invändig rörtätning (Bild: Vetter GmbH)

Rörtätare kan inte användas på rörsystem med höga övertryck. Det finns tätare som arbetar vid 1,5 bar som är testade till ett mottryck i röret på cirka 0,5 bar. Det finns även högtryckssystem med arbetstryck runt 6 bar som är testade för mottryck på upp till 3 bar. Om trycket i röret överstiger det testade mottrycket finns risk att tätaren skjuter ut. Denna risk bör alltid beaktas och tätningsutrustningen bör därför alltid säkras på lämpligt sätt.

Bild 4.27 visar ett invändigt rörförband där kemikalien finns uppströms tätaren. Tätaren är försedd med en slangkoppling som kan användas för att tappa av kemikalien under kontrollerade former.

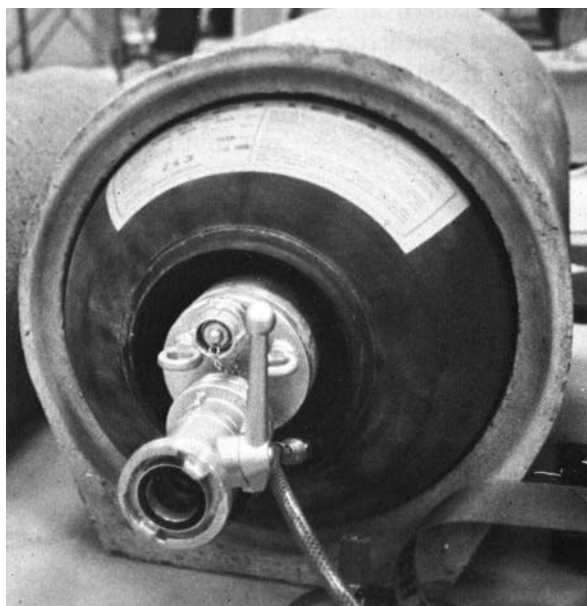


Bild 4.27: Invändig tätning av rör med slangkoppling för avtappning

Rörtätaren får inte fyllas utan att först ha blivit placerad i ett lagom stort rör. Om tätaren fylls till maximalt tryck i det fria kan den spricka vilket först yttrar sig som en liten blåsa som snabbt (5 s) växer till halva tätarens storlek. Därefter spricker den med en ljudlig knall. Den personal som arbetar med utrustningen ska därför bära normal utryckningsklädsel.

Efter varje användning ska rörtätaren tvättas med lämplig tvättkemikalie. Beroende på vilken kemikalie som förorenat den kan till exempel metanol, etanol, lacknafta, xylen, varm tvållösning eller vanligt vatten användas. Därefter bör den okulärbesiktigas för att eventuellt finna mekaniska skador eller fräthål. Den ska efter varje användning också täthetsprovas genom att den fylls med luft till trycket 50 kPa. Efter 30 min ska trycket fortfarande vara 50 kPa. I annat fall läcker kudden och ska repareras.

Efter cirka fem år, eller kortare tid beroende på hur den har hanterats, kan ytliga sprickor uppstå. Tätaren ska då sändas till tillverkare eller försäljare för kontroll.

4.9.2 Utvändig rörtätning

Rör kan även tätas utvändigt med speciellt anpassad utrustning. Exempel på sådan utrustning visas på bild 4.28.



Bild 4.28: Utvändig rörtätning av märket Sava (Bilder: Savatech corp)

Dessa utvändiga rörtätare är cirka 6-10 mm tjocka, har ett arbetstryck på cirka 1 - 1,5 bar och finns i längder från 200 mm till 1250 mm. Detta gör att rördiametrar på upp till cirka 400 mm kan tätas. Bredden på utrustningen varierar från 100 – 450 mm.

4.9.3 Tätningssklamrar (Katastroflämmor)

För att tätare mindre hål på rör kan särskilda tätningssklamrar (katastroflämmor) användas. Dessa visas på bild 4.29 och är ett skruvförband som dras åt runt läckagestället.



Bild 4.29: Tätningssklamrar (Bilder: Vetter GmbH)

4.9.4 Tätning med rörstrypning

Vissa typer av rör kan också tätas genom att röret stryps genom pressning. Metoden lämpar sig bäst för mjuka rörmaterial som till exempel rostfritt stål, järn eller koppar. Vissa andra rörmaterial kan lätt spricka och då bör metoden undvikas. Sådana rörmaterial är till exempel plast, aluminium och gjutjärn. Bild 4.30 visar hur röret kan pressas samman med en vanlig spridare respektive en hydraulisk rörstrypare.



Bild 4.30: ovan: Rörstrykning med spridare, ned: Hydraulisk rörstrypare. (Bilder: Räddningsverket)

4.9.5 Flänsförband

Särskilda förband finns även för att tätä läckande flänsar. Ett sådant specialförband visas på bild 4.31. Det manövreras med tryckluft vid arbetsstrycket 150 kPa och är försett med en ventil för att tappa av kemikalien under kontrollerade former.



Bild 4.31: Flänsförband med avtappning (Bilder: Vetter GmbH)

För att tätä en läckande fläns utan att skapa möjlighet till avtappning kan tätningspasta användas (se bild 4.32). Pastan är en billig metod som kan stå emot tryck på upp emot 40 kPa.



Figur 4.32: Tätningspasta (Bild: Vetter GmbH)

4.10 Bärningsemballage

En speciell läckagetyp som är relativt vanlig är läckage från olika fattyper som används i industrin. Vid mindre läckage från fat kan hela fatet placeras i ett särskilt bärningsemballage (säkerhetsfat). Två sådana varianter visas på bild 4.33.

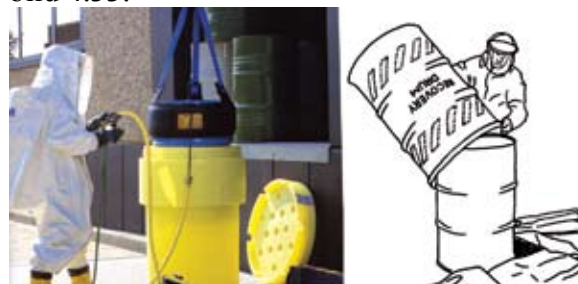


Bild 4.33: Två typer av bärningsemballage för fat (Bilder: Vetter GmbH (t v) och Courtesy of Environment Canada (t h))

Av utrymmesskal finns det oftast ingen möjlighet för räddningstjänsten att föra med sig säkerhetsfat för att ta hand om läckande fat.

Det är dock bra att känna till att de existerar i den händelse att sådan utrustning kan finnas tillgänglig hos vissa verksamhetsutövare som hanterar kemikalier i fat.

Det finns också andra typer av bärgningsemballage som är anpassade för mindre läckande behållare. Ett sådant speciellt bärgningsemballage visas på bild 4.34.



Bild 4.34: Bärgningsemballage för mindre behållare (Bild: Räddningsverket)

4.11 Metodval

Vilken tätningssmetod som ska väljas för olika läckage beror på flera faktorer. Några av de viktigaste är:

- Läckagets storlek: Litet/Stort (> 20x10 cm)
- Mottryck: Lågt / Högt (> 1 - 1,5 bar)
- Väggtjocklek: Tunn / Tjock
- Placering: Mitt på kärlet/Kant
- Hålets kanter: Slät yta/Kantig yta

Dessa parametrar ger ett stort antal kombinationer varför det är svårt att ge någon generell lathund när vilken tätningssmetod ska väljas. Övning och erfarenhet är viktigt för att skapa en handlingsberedskap för att välja rätt metod.

5 Impaktering (återkondensering)

Detta kapitel är främst kopplat till de ämnen där de rekommenderade åtgärderna i Farligt Gods-korten är att täcka läckage med pressening eller återkondenseringsutrustning.

I detta kapitel beskrivs principerna bakom impaktering, vilket ibland brukar kallas för återkondensering. Här har dock namnet impaktering valts då det bättre speglar den fysikaliska principen bakom metoden, se nedanstående underkapitel.

Metoden går ut på att avsätta vätskedroppar på en yta för att sedan samla upp dessa. Det sker således ingen kondensering av redan förångade partiklar varför namnet återkondensering är missvisande. Metoden är tillämpbar vid läckage av kondenserade gaser då delar av utflödet är i vätskefas. Om man under jetstadiet lyckas förhindra att luft kommer åt aerosolen och samtidigt bromsar upp strålen mot en yta anges det att upp emot 80 % av utsläppet kan samlas upp (Källström & Mourujärvi, 1999).

Impaktering av brandfarliga tryckkondenserade gaser ska aldrig ske eftersom risken för en antändning av den brandfarliga gasen i vätskefas är för stor. Konsekvenserna av en sådan antändning kan bli mycket omfattande.

5.1 Fysikalisk princip

Det finns egentligen ett flertal fysikaliska fenomen som kan få partiklar eller vätskedroppar att avsättas på en annan partikel eller en yta. De viktigaste är *impaktion*, *interception* och *diffusion* (brownsk rörelse). Den viktigaste fysikaliska principen bakom impaktering är den vi kallar för *impaktion*,

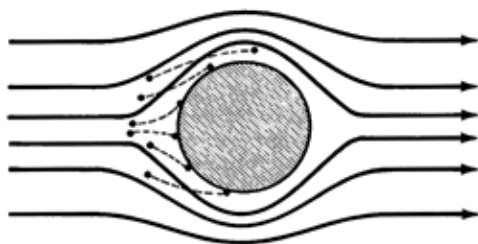


Bild 5.1: Principen för impaktion (från Cooper och Alley, 2002)

vilken bygger på kroppars tröghet, eller rörelsemängd med ett finare ord. Partiklar (eller här: vätskedroppar) kan avskiljas ur en luftström då gasströmmen plötsligt ändrar rörelseriktning.

Vätskedroppens rörelsemängd ger den en tröghet som leder till att vätskedroppen fortsätter i den ursprungliga rörelseriktningen och kan avsättas på en yta. Principen visas på bild 5.1 där de små svarta prickarna representerar vätskedroppar i en gasström som passerar en större kropp.

Förutom vid uppsamling av vätskedroppar vid utflöden av farligt gods används impaktion bland annat vid provtagning av luftprover för miljömätningar för att avskilja olika partikelstorlekar. Ett annat exempel är människokroppen där impaktion är ett viktigt fenomen för att hindra större partiklar att nå ner i lungorna och ut i alveolerna. Stora partiklar som inte har förmåga att följa med den turbulenta luftströmmen i näsan avskiljs genom sin större tröghet. Ytterligare ett exempel är cyklonavskiljning som används i industrin.

5.2 Metodbeskrivning

Metoder med impaktion kan användas vid läckage av kondenserade gaser som utsläpp av ammoniak, svaveldioxid och klor. Vid läckage från behållare bildar dessa ämnen aerosolhaltiga moln som kan vara ytterst farliga för människa och miljö. Det är som beskrivits ovan dropparna i utflödet som kan samlas upp och tas omhand. Att tänka på är att utflödet ofta kyls av när energi tas ifrån ämnet för dess förångning. Efter ett tag kan temperaturen sjunka ned till ämnets kokpunkt. Det är därför viktigt att tänka på valet av skyddsutrustning för dem som utför impakteringen. Läckage från tankcontainrar och liknande behållare kan samlas upp med pressening enligt bild 5.2. Detta är en metod som först och främst används om läckaget inte kan tätas på annat sätt.

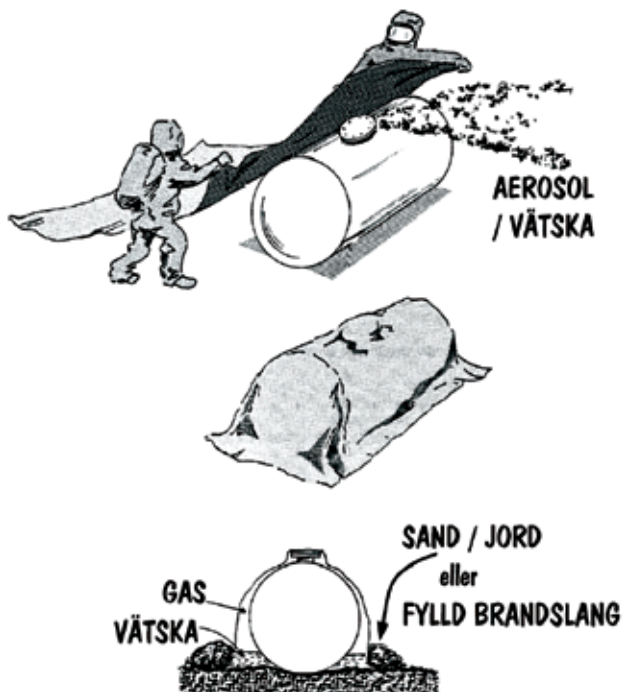


Bild 5.2: Uppsamling med hjälp av presenning
(Bild: Räddningsverket)

I detta fall krävs en stor presenning (24 x 36 m) som lämpligen placeras på behållaren och viks ut ifrån mitten (stor behållare) eller träs över från läsidan (något mindre behållare). Även marken bör täckas med en eller flera presenningar. Metoden kan bli personalkrävande då det kan vara svårt att hantera en stor presenning under de svåra förhållanden som råder

Läckage som ger upphov till en åtkomlig jetstråle kan impakteras med hjälp av en trätt eller strut (se bild 5.3) som förankras intill läckagepunkten. På viss impakteringsutrustning finns magneter för att underlätta förankringen av trattöppningen. Förflyttningen mot läckaget sker i största möjliga utsträckning från sidan för att undvika att personalen översköjs av kemikalien. Efter förankringen leds jetstrålen in i tratten varefter vätskan samlas upp i ett kärl eller en bassäng.

När impakteringsstruten anbringats vid läckagepunkten leds den uppsamlade vätskan till ett kärl eller en bassäng. Det är

viktigt att tänka på att ämnet även kommer i gasfas och att en anseelig avgasning kan ske från vätskeytan. Av denna anledning täcks uppsamlingsbassängen med en presenning.

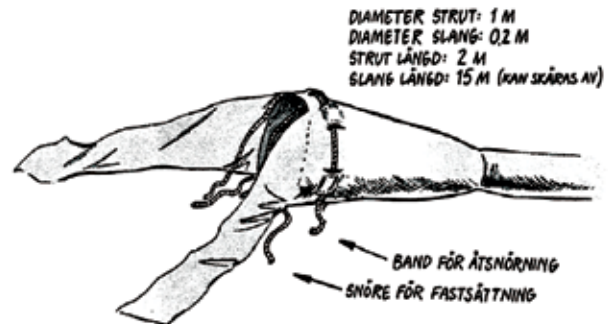


Bild 5.3: Tratt för impaktering av läckande gas
(Bild: Räddningsverket)

Impaktering kan också ske med hjälp av enkla skivor, presenningar eller annat material som finns till hands. Materiel för impaktering visas på bild 5.4/5.5/5.6



Bild 5.4/5.5/5.6: Materiel för impaktering
(Bilder: Hylander)

6 Överpumpning

Detta kapitel är främst kopplat till de ämnen där de rekommenderade åtgärderna i Farligt Gods-korten är: pumpa eller ös upp vätskan.

6.1 Inledning

De flesta av de mer eller mindre farliga kemikalier som hanteras i vårt land är vätskor. Vid många kemikalieolyckor är det därför troligt att man får ett utflöde av vätska, som då måste pumpas upp. Det kan gälla att pumpa antingen direkt från en läckande behållare eller från redan utrunnen vätska till ett uppsamlingskärl. Denna åtgärd, som här kallas överpumpning, ställer speciella krav på pump, slang och uppsamlingskärl.

Kommunala räddningstjänster och andra som sysslar med räddningstjänst eller sanering använder idag en mängd olika materiel för överpumpning. Det är inte ovanligt att det på samma ställe finns tre, fyra olika pumpar och därtill särskilda slangar för varje pump. Antalet pumpar, slangar och kärl gör det svårt att välja rätt utrustning när en viss vätska ska pumpas. En vätska kan vara frätande vilket föranleder val av pump A. En annan vätska avger brännbara gaser vilket medför val av pump B. En tredje vätska löser upp packningar och andra gummidetaljer och man väljer pump C. Vilken pump väljer man då vätskan inte kan identifieras? Självfallet får inte insatsen fördröjas. Det som påverkar insatsen är ämnets kemiska och fysikaliska egenskaper samt temperatur, fuktighet och markförhållanden vid olycksplatsen.

Den materiel man ska använda vid överpumpning bör kunna utnyttjas för de allra flesta vätskor under en viss tid. Efter den tiden kan vissa delar i extrema fall behöva bytas ut. Det bör dock bara gälla billigare pumptillbehör som t ex slangar och sugsilars, vilka är enkla att byta ut och ekonomiskt rimliga att hålla som reservdelar. Efter utbytet ska pumpen kunna nyttjas ytterligare viss tid. Det viktiga är att vitala och dyra delar inte angrips eller

förstörs vid överpumpningen. Visserligen kan man hävda att räddningstjänstmateriel kan betraktas som engångsartiklar, men med hänsyn till realistiska övningar med riktiga kemikalier, det relativt stora antalet olyckor med småspill och den ibland korta användningstiden (några minuter innan materielen går sönder) medför detta synsätt onödiga kostnader och ineffektivitet.

Olika materiel för överpumpning ställer olika krav med avseende på hur länge de behöver fungera. Materiel som ska användas till den inledande insatsen eller till mindre olyckor bör fungera i *minst* tre timmar utan avbrott under de förutsättningar som finns angivna i kravspecifikationen. Dessa förutsättningar är valda så att räddningstjänsten ska kunna göra en första snabb insats och veta att man kan "hålla ställningarna" under åtminstone denna tid.

Materiel som ska användas vid större olyckor, t ex för att pumpa ur en vält tankbil, behöver fungera under mycket längre tid. En sådan insats varar ofta mellan 7 – 24 timmar där överpumpning kan ske i flera omgångar. Sådan specialutrustning kan rekvireras från regionsamverkan, statliga resursförråd samt vissa industrier.

Eftersom keminsatser inte är så vanliga och räddningstjänsten därför inte får någon rutin av denna typ av insatser är det extra viktigt att man övar under så realistiska förhållanden som möjligt. Att öva hos kemiindustrin ger praktiska grunder och teoretiska kunskaper som är värdefulla när man ställs inför ett skarpt läge. Detta för med sig att risken för misstag reduceras avsevärt, personsäkerheten ökar och den taktiska insatsen förenklas.

6.2 Olika typscenarier

Tillvägagångssättet vid överpumpning varierar beroende på vilken vätska som ska pumpas och situationen på olycksplatsen.

Följande typscenarier kan urskiljas:

- **Överpumpning från invallad vätska.**

För att kunna pumpa upp tunna vätskepölar är det extra viktigt att man har tillgång till sugsil med grunda uppsugningsöppningar så att man inte suger in luft. Vidare är det viktigt att tänka på vad som kan nå pumpen när det gäller föroreningar som småsten, löv etc som kan finnas i vätskepölen.

- **Överpumpning från transportbehållare.**

För överpumpning från transport- och förvaringsbehållare är fatpump eller sugslang med lans eller dykrör lämpligt för att kunna komma åt vätskan genom trånga öppningar. Sådan utrustning visas på bild 6.1. I kombination med tyngre pumputrustning kan dykrören också användas vid överpumpning från olika typer av tankar.



Bild 6.1: Syrafast fatpump och dykrör (Bilder: ØSA och Hylander)

- **Överpumpning från tankbil/tankvagn**

Ibland kan det vara lämpligt eller nödvändigt att pumpa över vätska från en tankbil/tankvagn som dessutom kan läcka. Kan man snabbt få

fram en slamsugningsbil som är godkänd för att pumpa aktuellt ämne så är detta alternativ ofta att föredra. Ofta kan det ta allt från några timmar upp till ett dygn innan en sådan resurs kan vara på plats. I vissa fall kan det också vara svårt att nå skadeplatsen. Då är en bärbar pump ett alternativ.

6.2.1 Tankbilar

Tankkonstruktioner skiljer sig beroende på vilka vätskor de är avsedda för. Tankar för **bensin och olja** är i allmänhet konstruerade i tunn aluminiumplåt (5 mm) och rymmer normalt 15 – 17 m³, se bild 6.2.



Bild 6.2: Transportbil för bensin och olja (Bild: ØSA)

De är ofta indelade i ett antal fack avskiljda med dubbla väggar, s k kofferdamm. Varje fack har en domlucka ur vilken det är möjligt att pumpa ur vätskan. Varje kofferdamm har en plugg på toppen varför man lätt kan se avskiljningen mellan facken, och ofta också vilket/vilka fack det läcker ifrån. Under varje fack sitter en bottenventil som normalt styrs av bilens tryckluftsystem men som i ett nödläge måste öppnas med en särskild nyckel som ska finnas med på fordonet. Håll uppsikt över den s k chipventilen i toppen av tanken eftersom även den kan påverkas vid öppning av bottenventilen.

I botten finns det rörledningar från varje fack som går till en samlingsledning ur vilken det också går att pumpa ur vätskan. Det krävs en särskild övergångskoppling för att ansluta slangen till lossningsventilen.



Bild 6.3: Nödtömningsventil (Bilder: Hylander)

På en del moderna tankbilar som framförallt kör petroleumprodukter finns det en nödtömningsventil uppe på tanken, se bild 6.3. Under denna ventil, in i tanken sitter det en böjlig metallslang som är 60 cm lång. När en bil välter och ligger på sidan kommer denna slang att peka nedåt i tanken och man kan då koppla in sig med en Todokoppling och tömma ner vätskenivån under manluckans nivå. Manluckan kan sedan öppnas och resterande produkt pumpas ut ur tanken.

Tankar för **kemikalier** är i allmänhet konstruerade i syrafast stål (ca 3 mm), se bild 6.4. För **tryckkondenserade gaser** är godstjockleken ofta 15 – 25 mm.



Bild 6.4: Transportbilar för kemikalietransport (Bild: Hylander (t h))

Storleken på bulkbehållaren kan variera från fack på cirka ett par kubikmeter upp till odelade tankar på upp till 55 m³.

Samlingsledning och manifold är ovanligt på kemikalietankar. Där har varje fack sin egen rörledning och ventil. Detta för att man inte ska kunna blanda olika vätskor som kan ge upphov till farliga kemiska reaktioner och för att inte kontaminera en produkt med en annan.

Ofta har tankfordonen pneumatiska ventilsystem (chipventiler) som normalt styrs via fordonets eget tryckluftssystem. Luftledningarna till dessa går dock ofta att klippa sönder och man kan därefter koppla in extern tryckluft

för att på så sätt manövrera ventilerna efter behov.

Vid pumpning från en tankbil/tankvagn som har välrt är det viktigt att beakta risken att den välter tillbaka på grund av att tyngdpunkten förskjuts efterhand som vätskan töms ur tankbilen. Därför är man tvungen att noggrant fixera/säkra fordonet innan överpumpning påbörjas.

6.3 Uppbyggnad av pumpsystem

Man ska sträva efter att placera pumpen så nära källan som möjligt. Detta görs för att utnyttja pumpens kapacitet som till största delen ligger på trycksidan. Den principiella uppbyggnaden av ett lämpligt pumpsystem framgår av bild 6.5. Ofta är det enklast att bygga ihop så mycket som möjligt av pumpsystemet en bit ifrån olyckan där personalen kan arbeta i en lägre skyddsnivå för att sedan bära fram det ihopbyggda systemet när det ska användas.

För att fylla pumpen är det lämpligt att sätta en injektor efter pumpen. Med hjälp av kvävgas eller luft kan man då skapa ett undertryck med injektorverkan som drar fram den vätska som ska pumpas fram förbi pumphuset. Injektorn är försedd med ett synglas för att man ska kunna se när vätska flödar i systemet. Detta förfarande är särskilt viktigt när man ska pumpa brandfarliga vätskor då pumphuset kan laddas upp med statisk elektricitet om pumpen startas innan vätska har fyllt pumphuset.

För att möjliggöra sanering av pumpen efter användning ansluts T-stycken så långt ut som möjligt i bäge ändar av pumpsystemet för att kunna rundpumpa saneringsmedel. Val av saneringsmedel är beroende av vilken vätska som kontaminerat utrustningen. Vanligt förekommande saneringsvätskor är svaga baser resp syror samt metanol eller xylen för organiska vätskor. Efter att man pumpat runt metanol som är lösligt både i organiska ämnen och i vatten kan man i slutskedet eller vid förhöjd temperatur använda vatten, kanske med inblandning av skummedel för att öka effektiviteten.



sugsil, spjällventil och T-rör



slang (kort)



pump med injektor



tryckslang



T-rör och spjällventil



uppsamlingsbehållare

Figur 6.5: Principiell uppbyggnad av ett pumpsystem (Bilder: ØSA och Hylander)

Förutom att ingående delar behöver potential-utjämnas bör man sträva efter att använda så mycket fasta anslutningar som möjligt genom hela pumpkedjan. Det innebär att uppsamlingskärlet bör anslutas i en bottenventil om så är möjligt.

Det är viktigt att tänka igenom hur uppsamlingskärlet avluftas. Om kemikalien är giftig kan ett inte helt oansenligt riskområde uppstå vid avluftningen av uppsamlingskärlet då gasen ovan vätskeytan kan innehålla upp till mättnadskoncentrationen av ämnet i fråga. För att minimera riskerna kan en fältnässig skrubber konstrueras genom att man leder avluftningen via en slang och ett dykrör ned i en 1 m³ IBC-behållare fylld till 2/3 med ett lösningsmedel som löser gasen i fråga.

6.4 Pumpar

Följande pumpar är lämpliga att ha tillgång till hos räddningstjänsten eller som gemensam resurs i en region:

1. Dränkbar pump (för syror och baser)
2. Mindre pumpar: t ex fatpump, pataypump, etc (bör finnas i varje kommun)
3. Tyngre pump 300 – 500 liter/min (kan finnas i regional kemresurs)

Till detta kommer att man bör ha förberett en plan för att kalla in ADR-klassad slamsugare (för rätt produkt) som pumpresurs. Detta är ofta tidsödande men som resurs vid en större urpumpning är den mycket värdefull.



Bild 6.6: Atex klassade kemikaliepumpar (centrifugalpump) 500 l/min (Bilder: ØSA och Hylander)

Bild 6.6 visar två allsidiga kemikalipumpar avsedda både för frätande ämnen och brandfarliga vätskor vars motsvarigheter bör finnas i en regional kemresurs. Pumparna är centrifugalpumpar med en kapacitet på cirka 500 liter/min. Pumphuset är konstruerat i syrafast stål och pumpen klarar fasta partiklar på upp till 25 mm. För att fungera på skadeplats med brandfarliga vätskor är elmotorn ex-klassad.

6.4.1 Allmänt

Inom industrin finns en mängd olika pumpar som används för att pumpa kemikalier. De är konstruerade för att under mycket lång tid pumpa en speciell vätska eller vätskor med speciella egenskaper. En pump som ska användas vid räddningstjänst ska däremot kunna pumpa många olika typer av kemikalier under begränsad tid. Detta gör att vissa problem måste bemästras. Vätskorna kan angripa pumpdelar, de kan avge brännbara gaser med explosionsrisk som följd, de kan vara tröga och tjockflytande etc. Vätskan kan också ha runnit ut på mark, golv eller annat underlag varvid risk finns för att mekaniska föroreningar blandas i vätskan och förstör pumpen. Vätskan kan också rinna ut på stora

ytor med litet djup som följd, vilket ställer särskilda krav på sugslangen och pumpens evakueringsförmåga.

Resistens mot frätande vätskor är en av de viktigaste egenskaperna hos en pump som ska användas vid överpumpning. En del pumpar är konstruerade så att man kan byta förstörda delar. Detta är en acceptabel form av "resistens" mot frätande vätskor och en konstruktiv lösning som totalt sett kan vara billigare än helt resistent pumpar.

När det gäller kemisk resistens har de flesta tillverkare särskilda tabeller som gäller för en mängd kemikalier. Tabellerna beskriver resistensen i mycket allmänna termer och ger ringa vägledning när det gäller överpumpning. Vid räddningsinsatser pumpar man högst några timmar medan resistenstabellerna är uppgjorda för kontinuerlig pumpning under obegränsad tid.

6.4.2 Kravspecifikation

Nedan följer en specifikation över egenskaper som är önskvärda hos en pump som ska användas för överpumpning. Vi avser inte att kravspecifikationen ska resultera i en pump som klarar alla möjliga och omöjliga olyckor. Då skulle man förmodligen få en mycket dyrbar och komplicerad pump. Det kan ju lokalt förekomma speciella förhållanden som medför att särskilda krav måste tillgodoses vid valet av pump, (t ex stor sughöjd eller hög viskositet), men pumpar som uppfyller kravspecifikationen klarar också de vanligaste situationerna när det gäller överpumpning.

Pumpen ska vara självvakuerande för att enkelt kunna ta upp vätska på mark även när luft kommer in i sugslangen. Den vakuummeteriska sughöjden ska vara minst 5 meter vid ångtrycket 100 kPa och densiteten 1000 kg/m³. En dränkbar pump kan vara ett alternativ till självvakuerande pump. Kraven på kemisk resistens blir då mer omfattande eftersom vätskan kommer i kontakt med pumpens utsida. Till pumpen fordras en sugsil som klarar att suga ner till åtminstone 10 mm vätskedjup. I många broschyrer om centrifugalpumpar anges att pumpen är självsugande.

Detta gäller dock ofta under förutsättning att man fyllt pumpen med någon vätska, vanligen vatten.

Vissa vätskor reagerar emellertid med vatten och man bör då fylla pumpen med den aktuella vätskan.

Kapacitet

Det är värdefullt att pumpen har stor kapacitet. Då kan man under kort tid tömma en tank eller förhindra att vätskan får alltför stor utbredning. Beroende på vad pumpen ska användas till är ett lämpligt utgångs krav cirka 300 l/min vid 1 m manometrisk tryckhöjd. Den maximala tryckhöjden bör inte understiga 10 meter. Det är en nackdel att ha en pump som ger för stora tryckhöjder eftersom det sliter hårdare på slangen vid pumpning av vissa vätskor. Dessutom ökar risken för uppladdning av statisk elektricitet vid ökade tryck och flöden. Vidare ger det större risk för personskador vid slangläckage och det är ingen fördel att ha en vätska som sprutar ut med hög hastighet vid uppsamlingskärlet.

Kemisk resistens

Pumpen bör utan att bli förstörd klara att vid flöden upp till 300 l/min och temperaturen 20°C pumpa de vanligaste kemikalierna som transporteras på våra vägar i minst tre timmar utan att kapaciteten avtar. Sex lämpliga ”dimensionerande” kemikalier är svavelsyra (96–98 %), salpetersyra (65 %), trikloretylen, xylene, ammoniak (25 %) och natriumhydroxid (45 %). Kommunens riskanalys bör svara på om det finns ytterligare kemikalier som är vanliga i kommunen och som man bör ta hänsyn till.

Explosionskyddad

Pumpen ska vara explosionsskyddad för att medge pumpning av brandfarliga vätskor. Detta krav berör alla delar på pumpen. Vid nyinköp av pumpar, oavsett om de är elektriska eller icke-elektriska, så ska de uppfylla det som produktdirektivet ATEX 95 (94/9/EG). Motortypen bestäms bl a av möjligheterna att leverera energi från tillgängliga fordon. Man kan välja följande motorer för drivning av pumpen:

Alla motorer förekommer i räddningstjänst-sammanhang.

a) *Elmotorn* är ett bra alternativ. För att få tillräcklig pumpeffekt måste dock pumpen drivas av en trefasmotor. Endast de räddningstjänster som har fordon med trefasgenerator kan därför tänkas använda eldrivna pumpar. Explosionskyddade motorer finns i flera olika former.

b) *Förbränningsmotorn* har nackdelen med avgaser och att den erfarenhetsmässigt inte alltid är så lättstartad. Den är mindre lämplig att använda i explosiva miljöer trots eventuella skyddsanordningar.

c) *Hydraulmotorn* är liten och stark men har begränsad räckvidd. Slangarnas längd är på grund av tryckfallet begränsat till ca 40 meter. Den är användbar i explosiv miljö

d) *Luftmotorn* har dålig verkningsgrad och kan endast komma i fråga på pumpar med mindre kapacitet (100–150 l/min). Pumpen som visas på bild 6.7 fungerar mycket bra vid pumpning av högviskösa vätskor. För att driva pumpen krävs en kompressor med relativt hög kapacitet, något som kommunernas tekniska kontor ofta har tillgång till.



Bild 6.7: Luftdriven syrafast pump för bl a högviskösa vätskor (Bilder: ØSA och Hylander)

e) *Vattenturbinmotorn* är både lätt och stark. Den drivs med vatten vilket är ett medium som räddningsspersonal är van att hantera. De tunga vattenfyllda slangarna kan dock göra pumpen svårhanterlig. Den är användbar i explosiv miljö.

Viskositet

Pumpen ska klara av att pumpa vätskor med en viskositet av 1000 mm²/s vilket motsvarar olja SAE 30 vid +7°C. Vatten har vid +20°C viskositeten 1 mm²/s eller 1 cSt (centistoke).

Föroreningar

Pumpen ska klara av att pumpa vätska med inblandning av fasta, slitande partiklar med 25 mm diameter samt inblandning av deformerbare ämnen (papper, gräs, bildade salter etc).

Reglerbar kapacitet

Pumpens kapacitet bör enkelt kunna regleras från fullt flöde till avstängt. Det blir då lätt att variera eller stänga pumpens flöde för att t ex minska risken för slanghaveri eller för att skifta uppsamlingskärl. En centrifugalpump kan strypas på trycksidan genom att stänga en ventil tills lämpligt flöde erhålls.

6.5 Kopplingar

För att snabbt och effektivt kunna påbörja en överpumpning från en tankbil eller cistern krävs att man har tillgång till ett stort antal olika kopplingar. Det finns ett stort antal standardkopplingar som används av olika företag och för olika ämnen.

Bild 6.8 visar en översikt över några av de kopplingar som kan vara aktuella att ha tillgång till.



Bild 6.8: Kopplingar (Bilder: D. Ekström (t v) och Hylander (t h))

Bild 6.9 visar en övergång mellan två relativt vanliga kopplingstyper inom kemikalieindustrin.



Figur 6.9: Övergångskoppling mellan två vanliga kemikopplingar (Bilder: ØSA)

Viktigt för kemikalieresistensen och ledningsförmågan är att kopplingarna är utförda i syrafast stål, något som de flänsförsedda kopplingarna på bild 6.10 är.



Bild 6.10: Syrafasta OPW-kopplingar med fläns (Bilder: Hylander)

Bild 6.11 visar en koppling som används vid lossning av petroleumbilar.



Bild 6.11: Koppling för petroleumbilar (Bilder: ØSA)



Bild 6.12: Sparflänssats och principiell uppbyggnad av ett pumpsystem (Bilder: L. Hylander)

Utöver rena kopplingar kan det vara bra att ha tillgång till en s k sparflänssats som är en fläns som går att montera på nästan alla förekommande flänsar. Bild 6.12 visar en sådan sparflänssats som i nedersta bilden är monterad på en fast cistern. Observera att ett T-stycke är monterat direkt efter för att rengöringsvätska ska kunna rundpumpas i systemet.

6.6 Slangar

Det är inga problem att finna slangar som är motståndskraftiga mot frätande eller lösande kemikalier. Inom industrin transporteras dagligen en mängd kemikalier genom slang. Problemet uppstår när man ska välja en slang som klarar flera olika typer av vätskor. Slangen ska dessutom vara hanterbar och rymmas på släp eller fordon som används för keminsatser vid räddningstjänst.

På de flesta brandfordon finns brandslang som används för vattentransport. Den bästa lösningen vore givetvis att kunna använda den slangen även för pumpning och invallning av kemikalier. Detta fungerar dock mycket dåligt och det bästa är att använda ordentlig kemikalieresistent slang som är avsedd för ändamålet. Det är en fördel om man kan använda samma slang på både sug- och trycksidan av pumpen.

Slangen som ska användas för överpumpning måste ha god kemikalieresistens och dessutom god elektrisk ledningsförmåga. Exempel på slangar med slangdimensionen 2 tum visas på bild 6.13. Det kan även vara lämpligt att ha tillgång till 1 tums slang för att koppla upp mindre system.



Bild 6.13: 1 tums och 2 tums slang av Polypropylen för kemikalier (Bilder: Hylander)

Man måste räkna med att både slangens in- och utsida kommer i kontakt med vätskan vid överpumpning. Både innerbeläggning och ytterbeläggning bör därför vara resistent mot kemikalier en begränsad tid.

6.7 Sugsilar

I den ända som ska suga upp kemikalien är det ofta lämpligt att placera en sugsil för att

förhindra att allt för stora föroreningar sugas med kemikalien och förstör pumpen. Främst är detta aktuellt om vätskan som ska sugas upp har runnit ut på marken eller i någon invallning.

Bild 6.14 visar några olika utföranden av sugsilar.



Figur 6.14: Exempel på olika utförande av sugsilar (Bilder: ØSA)

6.8 Överpumpnings-kärl

I detta kapitel behandlas några kärl som kan användas för att samla upp den överpumpade vätskan. Det bör läsas ihop med kapitel 4.2 som behandlar kärl för inledande uppsamling. De kärl som behandlas här är dock något beständigare och är också avsedda att transportera bort den uppsamlade kemikalien i.



Bild 6.15: Mindre behållare lämpliga för överpumpning (Bild: t v: Hylander)

Bild 6.15 visar mindre kärl som dagligen används i kemiindustrin. Plastcontainrarna som rymmer runt 1 000 liter är mycket användbara och man bör ha förberett en kontaktväg för att snabbt kunna få fram ett par sådana behållare.

Även slutna mjuka bagar finns för att samla upp kemikalier i, se bild 6.16. De finns i storlekar från 500 – 10 000 liter. Det är något osäkert hur kemikalieresistensen är för dessa behållare så det kan vara viktigt att kontrollera detta innan denna typ av behållare används.



Bild 6.16: Sluten bag för att samla upp kemikaliespill (Bild: Savatech corp)

Vid större överpumpningsuppdrag kan man rekvirera en tankbil eller använda sig av den statliga kemresursens 20 m³ tank, se bild 6.17. Att tänka på när man använder sig av tankar är att de ska saneras av en certifierad firma för att få ett tvättcertifikat.



Bild 6.17: Tank på 20 m³ på den statliga kemresursen (Bild: Hylander)

När överpumpning sker med ADR-klassad slamsugare (bild 6.18) rymmer denna normalt cirka 10-15 m³, ofta uppdelat på ett stort och ett litet fack.



Bild 6.18: ADR-klassad slamsugare (Bild: Klensmeden AB)

6.9 Potentialutjämning (jordning)

När vätska strömmar genom en slang uppstår genom friktion vanligen en elektrostatisk uppladdning av vätskan. Benägenheten att laddas upp ökar med minskande ledningsförmåga hos vätskan. Laddningen blir särskilt stor om det i vätskan finns föroreningar eller en annan icke blandbar vätska. Likaså ökar uppladdningen om vätskan virvlar runt i en sugslang tillsammans med luft eller om vätskeströmmen är turbulent, det blir den om vätskan passerar hinder som filter, kopplingar etc. Uppladdningen ökar också med slangens längd och vätskans strömningshastighet. D v s alla faktorer som ökar den yttre och inre friktionen ökar den elektrostatiske uppladdningen.

När det elektrostatiskt uppladdade ämnet passerar någon komponent som är tillverkad i metall, t ex sugsil, koppling, pump och munstycke, blir metallkomponenten också elektrostatiskt uppladdad. Metallen får samma laddning som vätskan. Dessa elektriskt laddade metallkomponenter kan lätt urladdas via en gnista om de kommer i närheten av andra ledare som t ex är förbundna med jord.

Gnistans energi är så stor att man alltid måste räkna med risk för antändning om det finns brännbar atmosfär i området. För att avgöra om atmosfären är brännbar kan explosimeter användas, men det enklaste är givetvis om vätskans flampunkt och dess temperatur är känd. Är vätskans temperatur under flampunkten kan det inte finnas någon brännbar gasblandning. Av säkerhetsskäl (t ex temperaturväxlingar som inte hunnit påverka vätskan) ska man ändå räkna med minst tio graders marginal. Observera att även om omgivningstemperaturen är för låg så kan vätsketemperaturen vara tillräckligt hög, exempelvis om ämnet nyligen lastats från en inomhuscistern.

Vid ett utflöde av t ex lacknafta, som har en flampunkt på 35°C, och luftens temperatur är 25°C, ska man alltså utföra skyddsjordning.

Om vätskans flampunkt inte är känd, men väl vilken klass den tillhör, kan detta underlätta att bedöma risken för förekomsten av brandfarlig ånga. Brandfarliga varor klass 1 (flampunkt högst 21°C) ska, om inte den exakta flampunkten är känd, alltid skyddsjordas vid överpumpning.

Brandfarliga varor klass 2a (flampunkt +21 till +30°C) ska skyddsjordas om temperaturen är över cirka +10°C och klass 2b (flampunkt +30 till +55°C) om dess temperatur är över +20°C. Brandfarliga varor klass 3 (flampunkt över +55°C) behöver man vanligtvis inte ta någon hänsyn till i detta avseende. Observera framför allt att vätskor klass 2b och klass 3 ibland transporteras i uppvärmt tillstånd, vilket innebär att de kan bilda brännbar gasblandning även om lufttemperaturen är lägre än flampunkten.

Om man inte med stor säkerhet kan utesluta brand- och explosionsrisk ska potentialutjämning (jordning) alltid genomföras!

Om man har konstaterat att det kan föreligga risk för brännbar blandning och det samtidigt finns risk för elektrostatisk uppladdning måste man utföra potentialutjämning. Det innebär att man förbinder alla metallkomponenter till jord. Enklast gör man det genom att välja en sug- och tryckslang med elektrisk ledare och elektriskt ledande kopplingar. Då blir alla metallkomponenterna i grunden spänningsutjämnade och anslutna till pumpen. Flera anslutningspunkter med kabel eller plastbelagd vajer till jord är dock nödvändiga för att få tillfredställande säkerhet.

Därefter ska anslutningspunkterna självfallet jordas med ett jordspett varigenom hela pumpsystemet jordas. Systemet bör kontrolleras med konduktivitetsmätare för att få bekräftat att det är fullständigt jordat.

När man samlar vätskan i ett uppsamlingskärl av stål blir kärlet elektrostatiskt uppladdat vilket kan förorsaka gnista mellan vägg och jord. Behållaren bör därför anslutas till ett jordspett.

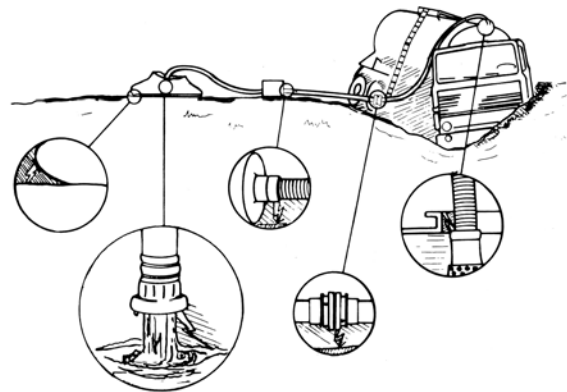
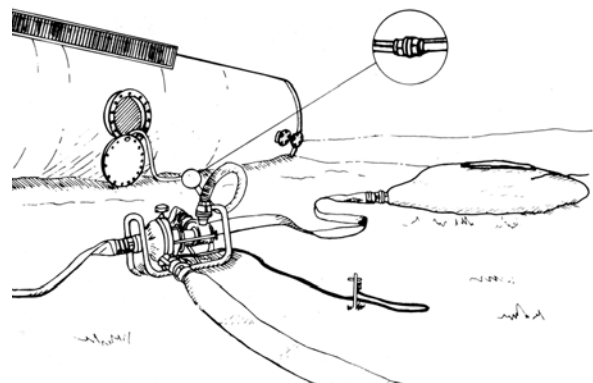


Bild 6.19: Platser där gnisturladdning kan ske om inte pumpsystemet jordas och kopplas på rätt sätt

Självräsnande kar som ansluts med den elektriskt ledande tryckslangen i bottenventilen behöver däremot inte jordas med särskilt jordspett, eftersom spänningsutjämning sker genom tryckslangen.

Den elektriskt uppladdade vätskan som ligger i karet har kvar sin laddning 30-60 min efter avslutad pumpning. Tiden varierar i huvudsak beroende på vätskans egenskaper. För att vara på den säkra sidan ska man vänta minst 60 minuter innan man börjar fylla vätskan till ett annat kärl. Risken är annars stor att det bildas en gnista mellan t ex sugsil och den laddade vätskan. Det är vanligt att borttransport sker med en slamsugarbil. Observera dock att det endast är ett fåtal slamsugarbilar som är avsedda för hantering av brandfarliga vätskor klass 1.



Figur 6.20: Om alla slangar och kopplingar är elektriskt ledande och anslutning görs i uppsamlingskärls bottenventil räcker det med ett jordspett. I annat fall får varje separat elektriskt ledande del jordas var för sig.

6.9.1 Utförande

Med ovanstående bakgrund förstås att det är nödvändigt att arbeta så att det inte uppstår någon risk för gnisturladdning och antändning. Den enklaste och säkraste metoden för spänningsutjämnning ska göras enligt följande tre moment:

1. Använd elektriskt ledande sug- och tryckslang med elektriskt ledande kopplingar.
2. Anslut slangens till karets bottenventil.
3. Anslut flera jordningspunkter (pump, sugsil, behållare etc) med kabel eller plastbelagd vajer.
4. Anslut ett jordspett till anslutningspunkterna.

Första momentet löser man bäst genom att enbart förvara slang med elektrisk ledare tillsammans med pumpen. Slangens elektriska motstånd får vara högst $1 \text{ M}\Omega/\text{m}$. Vissa slangtyper har istället för inbyggd elektrisk ledare en beläggning av ledande material, t ex en gummimassa som innehåller ledande partiklar. Kontrollera före första användningen att slangkopplingarna har elektrisk kontakt med ledaren.

Det förekommer att leverantörer enbart monterar på slangkopplingen utan att först frilägga ledaren. Denna kontroll är viktig eftersom isolerade ledare utgör en särskild risk beroende på deras kapacitans. Efter varje användning och vid långvarig förvaring (6 mån) utan användning, ska man kontrollera att slangens ledare är hel och i kontakt med slangkopplingen. Kontrollen görs enklast med konduktivitetmätare med summerfunktion.

Andra momentet görs för att jorda karets bottenventil genom den ledande tryckslangen. Lagg inte tryckslangen över karets kant eftersom man då måste jorda bottenventilen särskilt. Det finns också en viss risk för gnistbildning p g a vätskestrålens fria fall.

Tredje momentet är särskilt viktigt, eftersom man därigenom jordar hela pumpsystemet. Anslutningskabeln ska vara enkel att fästa på pump och andra anslutningspunkter och på jordspettet eller annat jordat föremål. Särskilt

viktigt är det att iaktta försiktighet när man slår ner spettet i marken så att man undviker mekanisk gnistbildning. Ett bra alternativ till att slå ned ett spett är att använda en borrhämmare eller en svängborr. För ordentlig jordförbindelse kan man med fördel hålla en hink vatten kring jordningen till marken.

Jordningskabeln ska vara smidig samt hållbar mot drag och slitage. Längden bör vara minst fem meter så att man har rimlig chans att hitta lämpligt ställe att slå ned spettet.

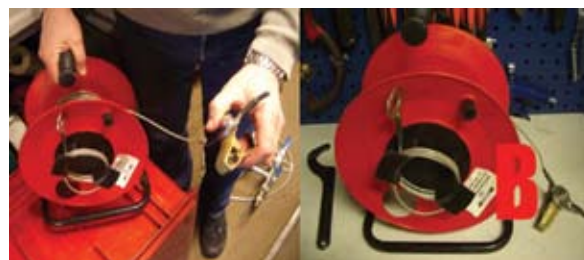


Bild 6.21: Plastbelagd vajer för potentialutjämnning (Bilder: ØSA)

Inplastad vajer på kabelvinda med förskruvningsanslutningar är att föredra, se bild 6.21.

Har spänningsutjämnning utförts på beskrivet sätt har man gjort vad som är möjligt för att det inte ska inträffa någon brand eller explosion p g a gnista genom statisk elektricitet.

6.9.2 Övriga tändkällor

Man bör ha klart för sig att statisk elektricitet bara är en av flera tändanledningar vid räddningsarbete med brandfarliga vätskor. Andra exempel är elektriska brytare och kontakter, förbränningsmotordrivna fordon och maskiner, gnistor orsakade av friktion m m. Detta innebär att arbetsinsatsen i riskområdet bör reduceras till ett minimum.

Självfallet ska den utrustning som oundvikligen erfordras inne i riskområdet i största möjliga mån vara så beskaffad att den inte utgör någon tändanledning. Det kan man emellertid inte uppnå med all materiel. Exempelvis kan nämnas tryckluftflaskorna som vid hårdhänta stötar kan förorsaka gnistbildning. Det är därför väsentligt att allt arbete inom riskområdet sker med största försiktighet och omtanke.

Tändkällor att ta hänsyn till:

- statisk elektricitet
- heta ytor (jämför med vätskans termiska tändpunkt)
- mekaniska gnistor
- elektriska gnistor

Det är också viktigt att ta med i beräkningarna att vissa vätskor kan sönderdelas samt reagera med vatten under bildning av brandfarlig gas eller i kontakt med vissa metaller. En del vätskor kan självantända i kontakt med luft.

Fritt fall

Man ska undvika fritt fall eftersom en fritt fallande vätskestråle kan alstra statisk elektricitet och ge urladdningar som kan antända vätskan. Detta är viktigt att tänka på både vad gäller den läckande tanken och tanken som man överpumpar till. Man bör eftersträva en maximal fallhöjd på 1 dm.

6.10 Säkerhet

Förutom de risker som är omnämnda i Farligt Gods-pärmen kan ytterligare två risker nämnas som uppstår vid överpumpning. Den första risken har samband med att man arbetar med trycksatta system. När ett ledningssystem är under tryck kan olyckor inträffa. Slangbrott, kopplingsläckage och kopplingar som släpper är exempel på vad som kan inträffa. Därtill kommer att det ur dessa öppningar inte sprutar vatten utan kemikalier som ibland på kort tid allvarligt kan skada människor. Förutom en löskommen slangändas pisksnärtar tillkommer alltså en kemikalie som en extra risk.

Den andra risken är svårare att upptäcka och därmed bemästra. Den kan uppträda i ett till synes perfekt ledningssystem där personalen ser ut att ha allt under kontroll. Det handlar om mycket små hål där vätskan sprutar ut i form av fin dimma, ett läckage som kan vara mycket svårt att upptäcka. Har man tur kan de synas i ett visst sorts ljus eller lukta på ett avvikande sätt.

6.11 När pumpningen är avslutad

När pumpningen är klar ska man tömma pump och slang. Det görs enklast genom att låta pumpen suga luft och trycka bort den mesta vätskan. Det som sedan är kvar avlägsnas genom att slangen lyfts på vanligt sätt. Därefter sänks sug silen i vatten och hela systemet pumpas rent.

Beroende på vad som pumpats kan det vara nödvändigt att ta hand om detta förorenade vatten som farligt avfall. Glöm inte att skölja materielen utvändigt med mycket vatten. Vissa kemikalier reagerar med vatten varvid vatten självfallet ska undvikas.

Materielen kan man nu ta tillbaka för vård och/eller kassering. När det är fråga om pumpning av kemikalier måste man i de allra flesta fall kassera slang, uppsamlingskärl och vissa pumpdelar. Men det som återanvänds måste rengöras och kontrolleras mycket noga. Det kan annars finnas kvarvarande rester som tillsammans med nästa kemikalie som pumpas ger t ex giftiga gaser eller åstadkommer en explosion. Denna typ av olyckor har inträffat. Den elektriska kontrollen av sug- och tryckslang görs enklast med en summer. Om slangen inte har använts ska den kontrolleras minst var sjätte månad.

Tänk på

- att det finns risker med kemikalier under tryck
- att materielen är förorenad även efter pumpning
- att kassera/laga angripen materiel.

7 Gasindikering

Detta kapitel är främst kopplat till de ämnen där de rekommenderade åtgärderna i Farligt Gods-korten är att kontrollera explosionsrisken, indikera kontinuerligt samt att sätta människor i säkerhet.

Vid olyckor med utflöde av flyktiga, farliga kemikalier är det viktigt för räddningspersonalen att veta vilket ämne som har kommit lös, vilka gaskoncentrationer som uppstår och när risken till följd av utflödet har upphört.

Med gas menar vi ofta ett ämne vars ångtryck överstiger lufttrycket vid rumstemperatur; ämnets kokpunkt är lägre än 20°C. Dock är det inte enbart rena gaser som kan skapa behov av gasindikering. Ångor är gas som avgår från ämnen som är vätskor vid normalt tryck och temperatur. Hur mycket ångor som avges beror på ämnets ångtryck vid den rådande temperaturen. Under *Viktiga data* i Farligt Gods-korten anges ämnets ångtryck vid 20°C. Ämnets kokpunkt är den temperatur då ångtrycket uppgår till 101,3 kPa (normalt lufttryck).

Utöver ångtrycket finns det olika indexsystem för att beskriva lösningsmedels avdunstningshastighet, där det vanligaste är en jämförelse mot butylacetat som då har värdet 1. Dessa värden på relativa avdunstningstal kan återfinnas i varuinformationsblad eller i olika informationsskrifter från leverantörer av lösningsmedel. Detta kan ge information i de fall det kan vara svårt att välja rätt Farligt Gods-kort, t ex vid utsläpp av en blandning av flera ämnen som förtunning för färger etc.

När ett ämne förångas åtgår det energi. Denna energi tas ofta från ämnet självt som då sjunker i temperatur. Detta leder till att utsläpp av kondenserade gaser kan bli mycket kalla och gasen kan bilda vätskepoolar på marken. Om energitillförseln till vätskepoolarna ökar, genom ökad solinstrålning eller genom tillförsel av vatten ökar avgasningen kraftigt. Ofta kan en övertäckning av vätskepoolar minska förångningen vilket leder till lägre risker men ofta mera långvariga.

Farligt Gods

Etylacetat 70

CH3COOCH2CH3

Första information

Skyddsutrustning: Branddräkt – Tryckluftapparat

Personal vid läckageplatsen: Branddräkt med stänkskydd

Största risk: Brand – Explosion

Första åtgärd: Utrym riskzonen

Undanröj: Ländarledningar

Valla in

Riskzon: Initialt 50 m vid stort utflöde

Brandfara: Stor

Reaktivitetsfara: Stor

Hälsofara: Liten till måttlig

Miljöfara: Liten

UN: 1173

CAS: 141-78-6

EG: 205-900-4

Index: 607-022-00-5

Viktiga data

Uteende: Färglös, klar vätska

Lukt: Fruktigande

Smältpunkt: -83°C

Kokpunkt: 77°C

Densitet: 902 kg/m³

Viskositet: 0,5 cSt

Brännbarhetsområde: 2,2-11,5 vol%

Flampunkt: -4°C

Termisk tändpunkt: 460°C

Löslighet: Måttlig i vatten (8 vikt%)

Bländar med många organiska lösningsmedel

Log Pow: 0,73

Nedbrytbarhet: Lätt nedbrytbar

Molekylvikt: 88,12

Flyktighet: Lättflyktig

Ångtryck: 9,7 kPa

Kritisk temperatur: 250°C

Mättnadskoncentration: 9,6 vol%

Densitetstet: 3,0 (luft: 1,0)

Hygieniskt gränsvärde: 300 ppm (KTV)

Förnimbarhetsgräns: Ca 1 ppm

Korttidseffekten: 200 ppm per irritation i ögon och andningsvägar

IDLH: 2 500 ppm

Toxicitet: Hälsoskadlig

Ekotoxicitet: Ringa

Märkning

Ansvarig: Transportetiketter

ADR - RID - IMDG - ICAO

Klass: 3

Förpackningsgrupp: II

Handteringsetiketter

Riskfraser: H360Df

Skyddsfrazer: P201+P202

33

1173





Mycket brandfarlig

Inferiör

© Brandtrycksbladsgruppen

© Brandtrycksbladsgruppen Service AB, 115 87 Stockholm. Tel: 08-588 474 00 www.ssd.se

2008 feb

Bild 7.1: Under viktiga data i Farligt Gods-korten anges ämnets ångtryck vid 20°C

En gas med en molekylvikt under 29 kg/kmol (medelmolekylvikten för luft) tenderar att stiga, medan en gas med en molekylvikt över 29 kg/kmol sjunker i luft. När en tung gas blandats med luft i tillräcklig omfattning betar den sig dock neutralt, d v s på samma sätt som den omgivande luften. Ångor från organiska föreningar är ofta tunga och tenderar att sjunka. Det finns även ämnen som är relativt lätta, till exempel ammoniak (molekylvikt 17 kg/kmol) som betar sig som en tung gas på grund av att den löser sig i den vattenånga som finns i luften. När man ska indikera ett gasutsläpp är det viktigt att veta var mätningen bör ske; om gasen tenderar att stiga eller sjunka ner i lågpunkter.

På laboratorier finns ett flertal metoder för identifiering och koncentrationsmätning av gaser i vilka man använder sig av gaskromatografi (GC), masspektroskopi (MS), infraröd spektroskopi (IR), spektroskopi i det ultraviolettera eller synliga eller området (UV-VIS), kemiluminiscens, elektrokemi, kolorimetri, konduktometri etc. De flesta av dessa analysmetoder är idag inte tillräckligt fältmässiga för mätningar i samband med olyckor, även om en del portabla instrument finns för forskningssammanhang.

Detta kapitel behandlar några typer av mättekniker som kan användas av räddningsstyrkan ute i fält. Tillförlitlighet och mätnoggrannhet hos de olika metoderna behandlas inte till fullo i kompendiet, för detta hänvisas istället till leverantörerna av utrustningen. De fältmässiga teknikerna för gasmätning som tas upp här är följande:

- Explosionsvarning genom mätning av förbränningsvärme eller värmeledningsförmåga (katalytisk förbränning, pellistor)
- Adsorption av gas på halvledare
- Kolorimetriska (synliga) kemiska reaktioner i analysampuller
- Tekniker som joniserar gasen (fotojonisation, flamjonisation och jonmobilitetspektroskopi)
- Elektrokemisk detektion
- Mätning av ljusabsorption (infraröd spektroskopi, IR)

Mätteknikerna uppfyller emellertid inte alla behov när det gäller att identifiera en kemikalie. Vid olyckor får man även förlita sig på överlämnad personlig information, märkning, transporthandlingar och sina egna sinnen.

7.1 Frågeställningar

Innan personalen börjar mäta en gas bör räddningsledaren och den som ska utföra mätningen ha tänkt igenom ett antal punkter, vilka framgår av följande checklista:

- Vilken gas är det som ska mätas/indikeras? Är instrumentet lämpat för denna gas?
- Vilka risker finns med gasen?
 - Explosionsrisk ges av: flampunkt, brännbarhetsområde, termisk tändpunkt och minsta tändenergi.
 - Skadliga eller giftiga koncentrationer ges av olika toxikologiska data såsom hygieniska gränsvärden, EPRG, TEEL, IDLH, LC₅₀ etc.
- Var befinner sig allmänheten, räddningspersonal och eventuella tändkällor i förhållande till utsläppet?
- I vilken skyddsutrustning måste användaren av mätutrustningen arbeta?
- Kan en grov uppskattning göras om vilket mätområde som är aktuellt?
- Är mätinstrumentet rätt kalibrerat?
- Under hur lång tid måste mätningen pågå för att ge relevant information?
- Vilka faktorer kan störa mätningen: kraftig vind, störämne etc?

Saknas information om dessa punkter riskerar informationsvärdet av mätningen bli lågt och resultatet kan underkännas som beslutsstöd av räddningsledaren eller den som behöver informationen. Till hjälp att söka svaren på frågorna ovan finns Svenska Brandskyddsföreningens Farligt Gods-kort, märkning, transporthandlingar och varuinformationsblad, denna skrift, personal inom kemiindustrin etc.

7.2 Allmänt om att mäta gaser

Vid mätning av gaser finns olika instrument för olika syften. För personligt skydd används företrädesvis liten utrustning som mäter kontinuerligt. Instrumenten har larmfunktion som larmar när användaren befinner sig i en gaskoncentration som riskerar att bli farlig. Exempel på sådan utrustning visas på bild 7.2. Inom industrin finns också utrustning för platsskydd det vill säga fast monterade gasvarningssystem som mäter kontinuerligt för att upptäcka läckor eller andra faror. De är ofta anpassade efter de lokala förhållandena och utrustningen är ofta utformad enligt särskild standard för att uppfylla de krav som ställs. I denna skrift handlar det dock främst om portabel utrustning som kan användas för att samla in information om ett gasutsläpp och för personligt skydd.



Bild 7.2: Exempel på gasmätningssutrustning för personligt skydd (Bilder: Dräger och RAE Systems)



Bild 7.3: Exempel på pumpanordningar vid gasmätning (Bild: nedre raden Dräger)

Apparaterna kan användas för att ta reda på vart tar gasmolnet vägen och var och när det slutar vara giftigt eller explosionsfarligt. Utrustningen bör vara enkel att transportera och handha då den används mycket sällan.

För att kunna mäta en gas behövs ett antal funktioner. För det första krävs en transport av gasen till apparatens provcell/mätkammare vilket kan ske genom pumpning eller diffusion. En pump kan bestå av en gummiblåsa, pistongpump, elektrisk pump etc. Exempel på pumpanordningar visas på bild 7.3. En elektrisk pump är normalt att föredra.

Viktigt att tänka på är också slang- eller rörsystemet som ska leda in gasen till mätkammaren. Eventuella slangar kan påverkas av kemikalierna och kan behöva slängas efter utförd mätning, då de kan vara anfräta eller avge gas lång tid efter mätningen. Det är också viktigt att vätska förhindras att följa med gasen in. För detta finns ibland någon form av vätskelås med filter eller en glaskropp som stoppar vätskan ungefär på samma sätt som en backventil.

Fördelen med att pumpa gasen till mätkammaren är att mätningen blir snabbare än vid diffusion samt att mätområdet kan justeras med hur mycket gas som pumpas in för mätning. Höga luftflöden kring ett mätinstrument kan påverka diffusionen på ett sådant sätt att det kan vara en felkälla att beakta.

När gasen nått provkammaren sker själva detektionen. Detta sker dels genom någon form av kemisk eller fysikalisk reaktion dels genom en registrering av denna reaktion. Registreringen kan ske genom påverkan på en elektrisk krets eller genom färgomslag eller liknande.

Mätutrustningen måste också ha någon anordning för avläsning av den registrerade detektionen. Har registreringen skett genom påverkan på en elektrisk krets kan avläsning ske direkt på en analog visare eller digital display. Ett färgomslag kan läsas av mot en längd- eller intensitetsskala. Moderna instrument kan också ha funktioner till stöd för rapportering och dokumentation av den utförda mätningen. Till exempel kan en radiolänk (bild 7.4) automatiskt rapportera mätresultatet till en basenhet och en minnesfunktion spara mätvärdet tillsammans med tidsuppgift och eventuell positionering från GPS.



Bild 7.4: Radiolänk som stöd för rapportering
(Bild: RAE Systems)

En mycket viktig faktor vid gasmätning en bit ifrån en utsläppskälla är under hur lång tid mätningen pågår. Turbulenta virvlar som är större än gasmolnets bredd kommer att orsaka att plymen får en slingrande rörelse, s k meandering (Fischer m fl, 1998). Detta innebär att den koncentration som mäts i en punkt fluktuerar och blir en funktion av medelvärdestiden, vilket visas på bild 7.5.

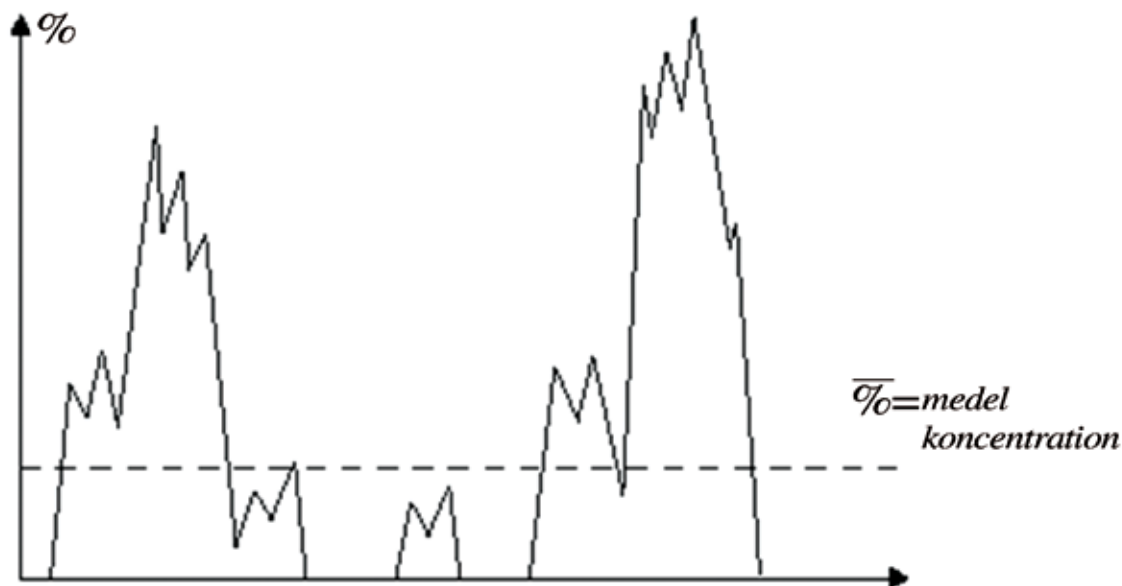


Bild 7.5: Principiellt utseende på en mätserie i en punkt (Fischer m fl 1988 sid 170 – fig 8.5)

Hur länge en mätning ska pågå är naturligtvis en avvägning mellan flera faktorer. I räddningstjänstsammanhang finns nästan alltid behovet av snabb information, samtidigt som effekter av meandering ibland måste tas med i beräkningen. I Gasindikering (1988) rekommenderas den ideala mättiden till omkring en minut. Denna tid kan vara lämplig men i vissa fall finns behov av upprepade mätningar för ökad noggrannhet. Mätinstrumentets responstid för att ge en korrekt mätning

kan variera från under 15 sekunder upp till fem minuter beroende på typ av instrument och vilket ämne som ska mätas. Det är därför viktigt att lära sig hur instrumentet fungerar och vilka mättider som är nödvändiga.

Det går inte att nog poängtera vikten av kalibrering för att kunna utföra tillförlitliga gasmätningar. Principerna för kalibrering skiljer sig åt och behandlas under respektive mätprincip. Att tänka på är dock att kalibrering ofta utförs mot endast en referensgas. Andra gaser kan sedan relateras till denna referensgas om man känner till rätt korrektionsfaktor. Det kan alltså vara av stor vikt att i förväg ta reda på korrektionsfaktorer för de ämnen som kan vara aktuella att mäta. Problem kan uppstå vid mätning av gasblandningar då inga korrektionsfaktorer normalt finns att tillgå. Det gäller då att utföra mätningarna med en god portion omdöme och försöka tolka resultaten

åt det säkra hållet. Behovet av kalibrering skiljer sig åt mellan olika instrumenttyper. Vissa instrument är kalibrerade av leverantören och behöver ingen ytterligare kalibrering (men väl en regelbunden kontroll!) medan vissa instrument bör kalibreras efter varje användningstillfälle. Att genomföra kalibreringar ute i fält är inte realistiskt så det är av stor vikt att rutiner finns för kalibrering hemma på stationen.

Så gott som samtliga instrument fungerar bäst om de startas upp i frisk atmosfär och en del kan behöva mer eller mindre lång uppvärmningstid innan mätning påbörjas.

Olika instrument har olika mätprinciper men moderna instrument kombinerar ofta flera olika principer för att kunna mäta t ex brännbara gaser, syrgashalt och halten av vissa flyktiga organiska eller giftiga ämnen. Genomgången i kapitel 7.3 – 7.10 är alltså inte i huvudsak en genomgång av olika typer av apparater utan av mätprinciper.

7.3 Egna sinnen

Med de egna sinnena syn och lukt kan grova uppskattningar göras vid gasutsläpp. Räddningspersonalen blir därmed ett viktigt och bra "mätinstrument".

Med hjälp av syn och luktsinne kan man bedöma färg, form, storlek, viskositet, karaktäristik av gasmoln, identifiera ämnen och göra koncentrationsbedömningar av kemikalier som har kommit lösa i både fast form, vätskeform och gasform.

Att utsätta luktsinnet för en gas kan vara riskabelt och får endast göras under förutsättning att gasens förnimbarhetsgräns är avsevärt lägre än den halt där skador kan uppstå, se bild 7.6. Exemplet visar att etylacetat kan förnimmas med luktsinnet redan vid cirka 1 ppm vilket är långt under det hygieniska gränsvärdet där skador börjar uppstå. Ett exempel där luktsinnet är ett trubbigt instrument är bensin som förnimmas vid cirka 300 ppm, cirka fyra gånger över det hygieniska korttidsvärdet.

Man ska också hålla i minnet att många ämnen (t ex svavelväte, ammoniak, klor och svaveldioxid) verkar bedövande på luktorganen. Efter exponering medför det oförmåga att bedöma olika koncentrationer under upp till ett dygn.

Kvaliteten hos bedömningar av människans sinnen är i högsta grad beroende på vederbörandes utbildning, varför räddningstjänstens personal bör ha övning i identifiering och koncentrationsbedömning av vissa kemikalier.

Farligt Gods **Etylacetat 70**
CH3COOCH2CH3

Första information

Skyddsutrustning: Branddräkt - Tryckluftapparat	UN: 1173
Personal vid läckageplatsen: Branddräkt med stjärkskydd Tryckluftapparat	CAS: 141-78-6
Största risk: Brand - Explosion	EG: 205-000-4
Första åtgärd: Utrym riskzonen Undantag tändkändningar Valla in	Index: 607-002-00-5

Riskzon: Inne 50 m vid stort utflöde
 Brandfara: Stor
 Reaktivitetsskara: Stor
 Hälsofar: Liten till måttlig
 Miljöfara: Liten

Viktiga data

Alla data avser det rena ämnet vid rumstemperatur

Utseende: Färglös, klar vätska	Molekylvikt: 88,12
Lukt: Fruktigande	Flyktighet: Lättflyktig
Smältpunkt: -63°C	Ångtryck: 0,7 kPa
Kokpunkt: 77°C	Kritisk temperatur: 250°C
Densitet: 902 kg/m³	Mättnadskoncentration: 9,6 vol%
Viskositet: 0,5 cSt	Densitetstet: 3,0 (luft: 1,0)
Brännbarhetsområde: 2,2-11,5 vol%	Hygieniskt gränsvärde: 200 ppm (CTD)
Flampunkt: -4°C	Förnimbarhetsgräns: Ca 1 ppm
Termisk tömpunkt: 460°C	Korttidsvärde: 200 ppm per inandning i ögon och andningsväg
Löslighet: Måttlig (vätska i vatten (8 vikth.))	IDLH: 2 000 ppm
Log Pow: 0,73	Toxicitet: Hållskadlig
Nedbrytbarhet: Lättnedbrytbar	Ekotoxicitet: Ringa

Märkning

Anmärkning: Transportetiketter ADR - RID - IMDG - ICAO Klass: 3 Förpackningsgrupp: II

Handteringsetiketter Riskfras: H360-67 Skyddsfra: (P)-16-20-33

33 1173

Mycket brandfarligt

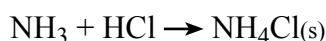
Skadande

Viktig information då personal skall utsättas för kemikalier på en skadeplats

Bild 7.6: Förnimbarhetsgräns och hygieniskt gränsvärde på Farligt Gods-kort för Etylacetat

En bra metod att underlätta observation av gasspridning är att till ett gasmoln tillsätta en kemikalie så att ett väl synligt ämne bildas. Som exempel kan nämnas klor eller svaveldioxid som tillsammans med ammoniak bildar ammoniumsalter (bl a NH_4Cl och $\text{NH}_4(\text{SO}_3)_2$), som är synliga även i mycket små koncentrationer.

Om man i ett ammoniakmoln tillsätter saltsyra bildas synlig ammoniumklorid (salmiak) enligt följande reaktionsformel:



Tillsatsen av ammoniak respektive saltsyra kan göras med enkla sprayflaskor som fylls med 25%-ig ammoniaklösning eller cirka 20 %-ig saltsyra.

7.4 Katalytisk explosimeter (Pellistor)

Explosimetern uppfanns i början av 1920-talet (av Johnson och William) och har tillverkats i många olika typer. De inom räddningstjänsterna äldsta använda instrumenten är från början av 1950-talet och representerar en typ av explosimetrar som man måste göra flera justeringar på innan man kan börja mäta. Driftsäkerheten är inte heller särskilt stor då känselementen ofta går sönder. Instrumentgenerationen som kom i slutet av 1970-talet är avsevärt mer lättarbetad och driftsäker och har lett fram till dagens moderna instrument.

Indelning i olika typer av explosimetrar kan göras på flera sätt. En indelning är efter mätprincip där det går att urskilja två huvudtyper; de som arbetar med katalytisk förbränning (pellistorer) och de som fungerar med en halvledarsensorteknik (se kapitel 7.5).

Innan man använder ett äldre instrument måste tre kontroller göras:

1. Mekanisk nollställning
2. Elektrisk nollställning
3. Batterikontroll

Förr gjordes detta med flera reglage och tog lång tid. På något modernare instrument

finns fler funktioner samlat på ett reglage med minskat antal handgrepp som följd. När utvecklingen av elektroniken kom, kom också möjligheten att genom bättre mätbryggor reducera behovet av elektrisk nollställning. Den mekaniska nollställningen elimineras om man ersätter visarinstrumentet med lysdioder eller display. På moderna instrument återstår således endast batterikontrollen innan instrumentet är redo att användas.

Driften av instrumenten har blivit mindre energikrävande och man har minskat på antalet torrbatterier och i moderna instrument ersatt dessa med laddningsbara batterier. Utvecklingen har alltså gått mot enklare hantering och säkrare avläsning av instrumenten vilket i hög grad har ökat deras användbarhet i samband med räddningstjänst.

Mätprincipen för explosimetern är användbar för att påvisa förekomst av en blandning av brännbar gas och luft, men däremot inte för att identifiera en gas. Instrumentet indikerar normalt inte närvaro av explosiv eller brännbar miljö när det är fråga om dimma, stänk eller damm (t ex smörjoljedimma eller koldamm) eller syrefattig miljö.

Explosimetrar som är bäst lämpade att använda i samband med räddningstjänst arbetar med katalytisk förbränning, s k pellistor (Engelska: Catalytic Pellistor Sensor).

Mätprincipen kan delas in i två grupper:

1. Mätning av förbränningsvärme
2. Mätning av värmeledningsförmåga

Metoden att mäta förbränningsvärme förekommer huvudsakligen vid instrument som mäter gaskoncentrationen i förhållande till en gasblandnings undre brännbarhetsgräns, vilken i fortsättningen benämns LEL (Lower Explosion Limit). UB, UEG, LFG, LEG, och UZG är andra förkortningar som förekommer.

Instrumentet har en kammare där gasen förbränns, se bild 7.7. I kammaren finns en glödtråd av platina eller platinaoxid som genomflyts av en ström. I kammaren kan förbränning ske även om gasblandningens

koncentration underskrider LEL på grund av platinans katalytiska effekt och den värme som alstras av strömmen.

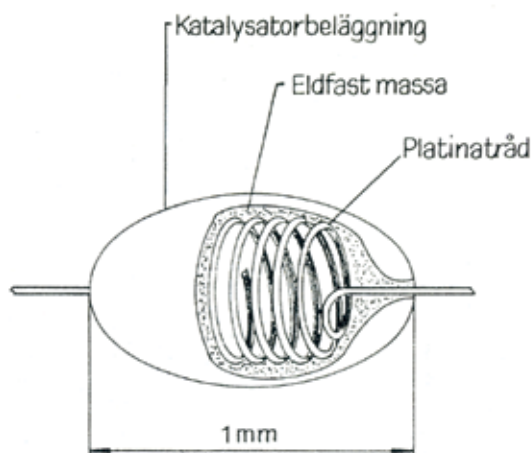


Bild 7.7: Skiss över känselement

Ju större gaskoncentrationen är desto mer värme utvecklas vid förbränningen och desto varmare blir glödtråden. När glödtrådens temperatur ändras så ändras också det elektriska motståndet i glödtråden och den elektriska kretsen kan registrera förändringen.

Kammaren och glödtråden (känselement) bildar ett motstånd i en motståndsbrygga (Wheatstone:s brygga), där motståndet är proportionellt mot gaskoncentrationen och kan avläsas på en skala med visare eller på en display. Bild 7.8 visar den schematiska uppbyggnaden av en katalytisk pellistor.

Den andra metoden - att mäta värmelednings-

förmåga - används i allmänhet på instrument som är graderade i volym%.

Flera instrumenttyper har två skalor där den ena är graderad i % av LEL och den andra i volymprocent. Mätning av värmeledningsförmågan kan då ske i ena grenen av en Wheatstone:s brygga och mätning av förbränningsvärme i andra grenen av bryggan.

Gas som ska mätas kan antingen pumpas in eller diffundera genom känselement. När gasen pumpas in görs detta på motsatt sida av känselementet jämfört med gasintaget. Denna konstruktion gör att gasen snabbt når känselementet och instrumentet indikerar gashalten praktiskt taget omedelbart.

De apparater som låter gasen diffundera till känselementet måste placeras i den miljö de ska mäta eller också kan gasen pumpas till gasintaget med hjälp av en gummiblåsa och förlängningsslang. Därifrån diffunderar gasen genom ett flamfilter och eventuella rör till känselementet där mätningen görs.

Om diffusionsinstrumentet ställs i den miljö där det ska mäta, arbetar instrumentet utan att någon behöver pumpa och man erhåller en kontinuerlig övervakning. Diffusionsinstrument mäter något långsammare än de instrument som pumpar gasen genom känselementet.

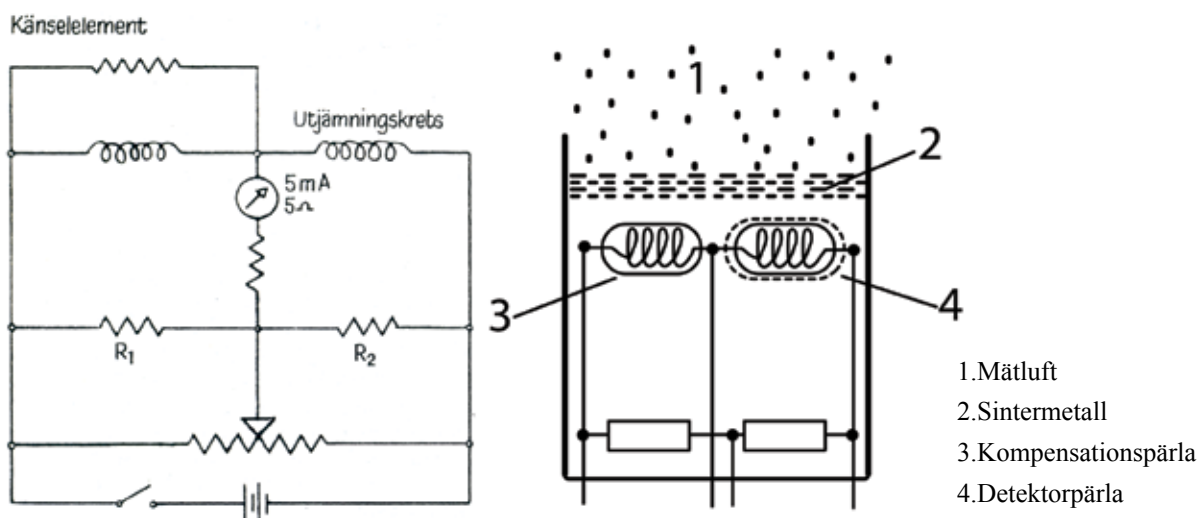


Bild 7.8: Schematisk skiss över Wheatstone:s brygga (Bild: t h Dräger)

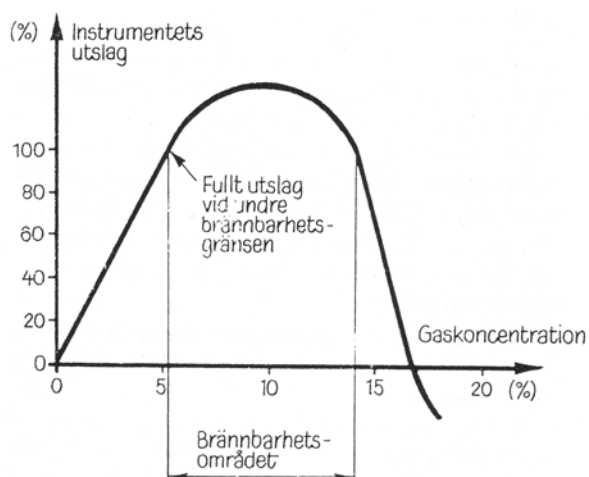


Bild 7.9: Samband mellan utslag och gaskoncentration

Av bild 7.9 framgår att instrumentet visar 100% när gaskoncentrationen är lika stor som LEL. Om koncentrationen ökar mot övre brännbarhetsgränsen kommer instrumentet fortsätta att göra maximalt utslag. Ökar koncentrationen ytterligare, utanför brännbarhetsområdet, kommer indikeringen att snabbt sjunka mot noll. Vid koncentrationer över brännbarhetsområdet sker ofta hela detta förlopp mycket snabbt. Instrumentets visare eller display rusar upp till max och faller sedan mot noll.

Vissa instrument har ett larm som startar vid en förutbestämd gaskoncentration. Denna koncentration är vid leverans ofta inställd runt 10 % eller 20 %, men är ofta enkel att justera till önskad nivå. För användning i samband med räddningstjänst är 10 % av LEL en lämplig förutbestämd larmnivå. Detta larm gör att man inte ständigt behöver ha ögonen på instrumentet utan kan ägna sig åt andra arbetsuppgifter samtidigt som mätning pågår. En del instrument har två larmnivåer där den ena kan utgöra ett förlarm och den andra huvudlarm. Instrumentet kan då ofta anpassas efter egna behov till exempel så att instrumentet måste tas ur den explosiva miljön vid kvittering av huvudlarmet.

Instrument som ska mäta om risk för explosion föreligger får naturligtvis inte själva vara en tändanledning. Därför ska flamskydd finnas på bägge sidor om känselelementet. Flamskydden

består ofta av sintrad metall. Instrumentets elektriska utrustning ska också vara godkänd för explosiva miljöer. De explosimetrar som säljs i Sverige har oftast ett godkännande för användning i explosiva miljöer från utländsk provningsanstalt (Storbritannien, Tyskland, USA). Ett godkännande torde vara ett måste vid inköp.

Explosimetrar av den typ som beskrivits här är inte så exakta som de flesta förväntar sig. Normalt kan man inte förvänta sig detektion under cirka 2 % av LEL. För bensen motsvarar detta cirka 300 ppm vilket är cirka 30 gånger högre koncentration än då bensen börjar bli hälsoskadligt. Detta innebär att explosimetern generellt inte går att använda för att avgöra om hälsorisker föreligger även om instrumentet har en graderad skala i volymprocent.

Utslaget kan ibland visa ända upp till 50 % fel även om hänsyn tagits till rätt korrektionsfaktor (se kapitel 8.4.1 Handhavande). Instrumenten bör därför användas av personal som dels har god utbildning i instrumentens funktion, dels har förmåga att tolka utslagen på ett korrekt sätt.

Bild 7.10 visar exempel på två instrument för att påvisa explosionsfarlig miljö. Instrumenten är även kombinerade med andra mätmetoder för att mäta syrgashalt och vissa giftiga gaser. Det finns även mindre instrument som kan bäras kontinuerligt av brandmännen och användas för personligt skydd.



Bild 7.10/7.11: Foto på utrustning fr.v. ST-7054-2005 Dräger, ST-7461-2005 och Dräger PAC Ex 2 (Bild: Dräger)

Ett sådant modernt instrument som bland annat ingår i den statliga kemberedskapen visas på bild 7.11.

7.4.1 Kalibrering

Explosimetrar är alltid kalibrerade för en särskild gas. I allmänhet används metan, pentan eller propan för kalibrering. Det innebär att instrumentet visar rätt värde för metan, pentan eller propan och för vissa andra gaser med liknande brännbarhetsområden och liknande termiska egenskaper. Användandet av metan som kalibreringsgas kan delvis förklaras av instrumentens historia, då det första stora användningsområdet var inom gruvindustrin.

En av anledningarna till att metan ofta används för kalibrering är att en pellistor har en begränsad livslängd, den kan bli förgiftad och få försämrad känslighet för att till slut helt sluta fungera. Det första man märker när detta problem uppstår är att responsen mot metan försämras. Man kan alltså ha en sensor som fungerar korrekt för propan eller pentan men inte för metan. Detta kan vara ödesdigert om man kalibrerar mot t ex propan men vill mäta metan.

För att man ska vara förvissad om att instrumentet arbetar riktigt ska kalibrering göras ofta. Det sker genom att kalibreringsgas sugas upp genom instrumentet. Explosimeterns utslag ska bli lika stort som förhållandet mellan kalibreringsgasens koncentration och LEL för gasen uttryckt i %. Till de flesta instrument kan speciella kalibreringssatser tillhandahållas. Där finns angivet hur stort instrumentets utslag ska vara. För metan eller pentan kalibreras instrumentet ofta vid 50 % av LEL.

För gaser som inte har samma egenskaper som kalibreringsgasen erfordras att de avlästa värdena korrigeras. Det ska göras för varje aktuellt ämne och kan redovisas i form av särskilda korrektionsfaktorer eller i form av grafer, som normalt ska medfölja instrumenten vid inköp. I bilaga A redovisas exempel på korrektionsfaktorer för ett antal ämnen. Helst ska korrektionsfaktorer från tillverkaren av instrumentet användas men bilaga A kan ge en bra vägledning om sådana saknas.

Med hjälp av tabellen i bilagan kan man korrigera instrumentets missvisning för t ex toluen. Det avlästa utslaget ska multipliceras med korrektionsfaktorn för den gas som apparaten är kalibrerad med. Om instrumentet visar 20 % av LEL och är kalibrerat med metan är det riktiga värdet $20 \% \times 1,9 = 38 \%$ av LEL vid mätning av toluenångor.

Ibland finns en utbredd tro på att de flesta korrektionsfaktorerna ligger under 1,0 vilket innebär att en mätning utan hänsyn till korrektionsfaktorn resulterar i en överskattning av gaskoncentrationen, vilket ger en extra säkerhet. Men så är ofta inte fallet utan man måste kontrollera detta noga innan ett sådant tillvägagångssätt används!

Om det inom kommunen eller industrin, där instrumentet används, förekommer en kemikalie som inte finns medtagen i de tabeller eller grafer som medföljer instrumentet, bör man göra en särskild kalibrering för det ämnet och räkna fram en korrektionsfaktor.

Explosimetrar som används för räddningstjänst nyttjas relativt sällan, men måste vara helt funktionsdugliga när de behöver användas. Därför ska man efter varje användning göra kalibrering liksom mekanisk och elektrisk nolljustering (om detta behövs på instrumentet). Genom detta förfaringsätt är man säker på att instrumentet fungerar nästa gång det ska användas eftersom inställda justeringar inte ändras vid förvaring. Om instrumentet inte används på lång tid bör det kalibreras och justeras åtminstone var tredje till var sjätte månad, då också batteriernas kondition bör kontrolleras.

7.4.2 Användning

Många explosimetrar har en färgmarkering (vitt, gult och rött) på visarinstrumentet. Man ska inte förledas att använda färgmarkeringarna som indikation på explosionsrisken utan avläsningen ska ske på sifferskalan. Det kan nämnas att röd färgmarkering förekommer i följande områden på olika instrument:

$$\text{Röd} = \begin{cases} 70\text{-}100\% \text{ av LEL} \\ 20\text{-}100\% \text{ av LEL} \\ 50\text{-}100\% \text{ av LEL} \\ 60\text{-}100\% \text{ av LEL} \\ 100\% \text{ av LEL} \end{cases}$$

7.4.3 Störningar

Den katalytiska tråden i kammaren kan påverkas temporärt (t ex av ämnen som innehåller halogener, svavel eller klor) eller permanent (t ex av ämnen som innehåller bly, silikon, fosfor, arsenik, antimon eller alkalimetaller), vilket leder till minskad känslighet då dessa ämnen absorberas och sönderdelas på mätelemtets yta och minskar den effektiva ytan. Påverkan sker i regel först efter lång tids användning och skadorna kan förhindras genom att man rutinmässigt alltid spolrar rent instrumentet med frisk luft efter varje användning. Man ska även undvika att använda instrumentet i starka korrosiva miljöer.

Ett instrument som utsätts för koncentrationer över övre brännbarhetsgränsen under flera minuter kan också påverkas med en sotbeläggning som minskar känsligheten. Om effekten blir temporär eller permanent beror på gasen. Problemet gäller främst aromatiska kolväten.

För att skydda instrumentet finns vissa tillverkare som levererar kolfilter till sina apparater men detta ger en minskad känslighet (minst en 20 - 50 %-ig minskning) som man måste ta hänsyn till. Vid användning av sådana filter ska utrustningen kalibreras noga med filter monterat och filtret ska bytas ut vid omkalibrering inom sex månader.

Eftersom mätprincipen baseras på en katalytisk förbränning är mätningen beroende av att tillräckligt med syre finns tillgängligt. Det kan därför vara svårt att genomföra mätningar inne i slutna utrymmen som cisterner eller om något gassläcksystem har löst ut.

Om man arbetar med instrumentet i särskilt varma miljöer kan vissa mätproblem uppstå med ämnen som har relativt hög kokpunkt (t ex nafta). Ångorna från dessa ämnen kan

kondensera i instrumentdelar som har en lägre temperatur än omgivningen, vilket påverkar mätningen negativt.

Mätinstrumenten begränsas också ofta vid hög luftfuktighet. Instrumentet kan då visa ett felaktigt värde och ge en falsk säkerhet. En riktlinje är att felet vid hög luftfuktighet är cirka 0,1 % per % RH, vilket innebär ungefär 10 % fel vid 95 % relativ luftfuktighet.

Problem kan uppstå när mätning ska ske vid en blandning av gaser, vilket kan vara fallet om t ex en pöl med förtunning för färg avdunstar. Det rekommenderas då att korrektionsfaktorn för det minst känsliga ämnet i blandningen (högst korrektionsfaktor) används för att inte generera felaktigt låga avläsningar. I räddningssammanhang är det mindre vanligt att mäta gasblandningar då det vid okontrollerade utsläpp vanligtvis är fråga om endast ett ämne.

Sammanfattningsvis kan sägas att explosimestern är ett fältmässigt instrument som är lätt att använda men att avlästa värden ska nyttjas med försiktighet och omdöme, särskilt vid hög luftfuktighet och att användaren i varje enskilt fall måste bedöma om någon korrektionsfaktor behöver användas.

7.5 Halvledarsensor (MOS-sensor)

Det finns som tidigare nämnts även instrument där den katalytiska förbränningen har ersatts med en gaskänslig halvledare. En millimeterstor glaskropp är då belagd med olika metaller eller metalloxider (t ex tennoxid, SnO_2), så kallad dopning. Halvledarens ledningsförmåga förändras när gaser adsorberas på dess yta. Dessa instrument har en mycket stabil nollpunkt och lång livslängd men har betydligt större spridning i känsligheten mot olika kolväten jämfört med explosimetrar som arbetar med katalytisk förbränning. De lämpar sig därför bäst för att detektera om en gas finns närvarande men räcker kanske inte till då en noggrannare skattning av koncentrationen är nödvändig. Man kan förenklat säga att sensorn känner av brandfarliga och toxiska ämnen men inte tillfredställande mäter dem.

MOS sensorn (metal oxide semiconductor) är en av de äldsta och billigaste mätteknikerna som används för gasindikering. I början av 1970-talet utvecklade General Monitors den första industriella tunnfilm metalloxid semikonduktorn (MOS) för att detektera svavelväte (H_2S). De MOS-sensorer som används för att detektera giftiga gaser brukar vara av typen TGS (Taguchi gas sensor) eller FIS-sensor.

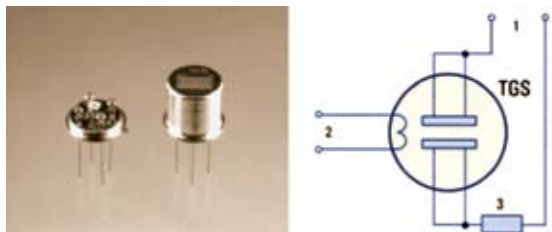


Bild 7.12: Halvledarsensor (MOS/TGS) (Bilder: Figaro)

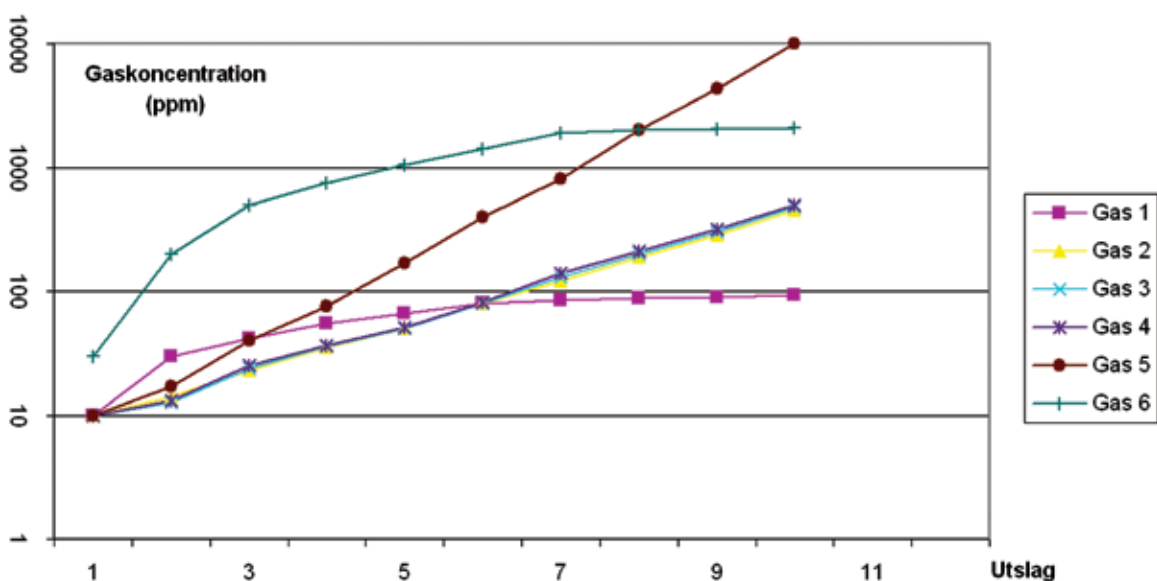
MOS-filmen är belagd på ett substrat mellan två elektroder, se bild 7.12. Om ingen gas finns närvarande är den uppmätta resistansen mellan dessa två elektroder väldigt hög (megaohm). När gas finns närvarande adsorberas denna på filmen. Elektroner får då lättare att hoppa från den ena elektroden till den andra och resistansen sjunker mellan elektroderna till kiloohm-området. Förändringen är ofta logaritmiskt proportionell mot gaskoncentrationen, vilket visas i figur 7.13. Som synes är kurvorna dels förskjutna i förhållande till varandra och dels har de olika lutningar

och linjaritet. Det är därför mycket svårt att konstruera ett halvledarinstrument med god noggrannhet.

Adsorptionsprocessen då gasmolekyler fäster vid metalloxidskiktet är helt reversibel och då gaskoncentrationen minskar släpper gasmolekylerna och resistansen ökar åter. Adsorptionen av gas på MOS-filmen är effektivast vid förhöjd temperatur. Därför innehåller sensorn ofta en värmering som håller en konstant temperatur med hjälp av en termistor.

MOS-sensorer är relativt billiga och kan detektera ett brett spektrum av gaser men de har även ett antal begränsningar:

- De har begränsad känslighet, ofta ligger detektionsgränsen på tiotals ppm_v.
- Deras utslag är icke-linjärt, vilket innebär ett större fel ju längre från kalibreringspunkten man mäter. Det kan därför vara svårt att stödja beslut på dessa data och de används därför mest som en grov indikation på att gas finns närvarande.
- De reagerar relativt långsamt (jämfört med fotojonisationsinstrument).
- De kan ge utslag för förändringar i fukt och temperatur.
- De kan bli förorenade och är svåra att rengöra.



Figur 7.13: Typiska kalibreringskurvor för en halvledarsensor (Bild: Å Persson, SBF)

Ett typiskt användningsområde för halvledar-instrument är läcksökning. Ett populärt instrument för detta ändamål visas på bild 7.14. Instrumentet indikerar med lysdioder i tre nivåer samt är utrustat med en akustisk signal vars frekvens kan regleras efter behov. Med hjälp av den akustiska signalen kan en tränad person relativt snabbt hitta ett läckage om förhållandena för att utföra mätningar är goda.

I tabell 7.1 anges vid vilka nivåer instrumentet indikerar för några vanliga gaser.

En stor fördel med instrumenten är att de reagerar både för de flesta brandfarliga gaser och för många toxiska gaser. Andra fördelar är att de är lätta att läsa av, fungerar även under syrefattiga förhållanden, inte behöver kalibreras (men dock kontrolleras!) och ofta har relativt kort tid för uppstart.

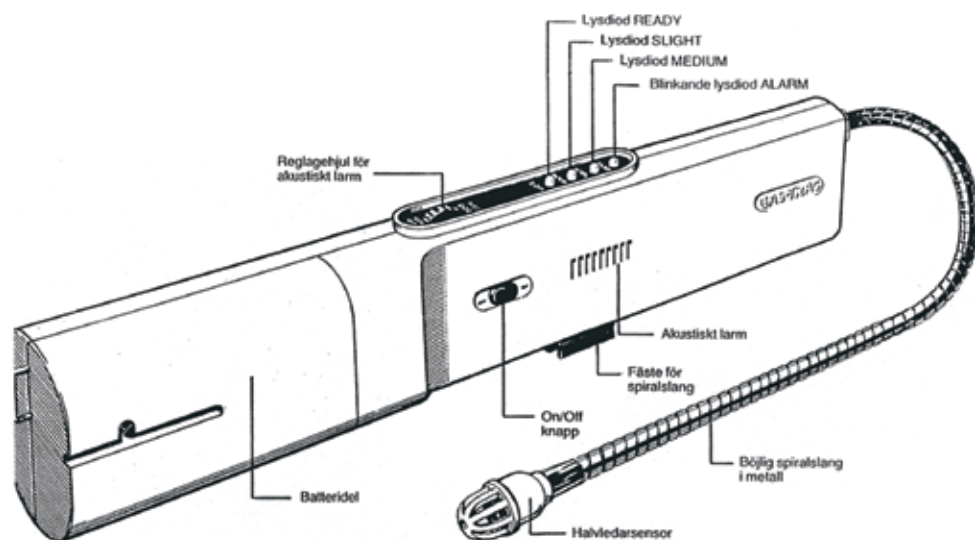


Bild 7.14: GAS-TRAC för läcksökning (Bild: Ola Alm Konsult/Northern Illinois)

Gas	Ljudlarmet reagerar	Lysdiod SLIGHT	Lysdiod MEDIUM	Lysdiod ALARM
Acetylen	10 ppm _v	750 ppm _v (3 % LEL)	10 370 ppm _v (42 % LEL)	20 000 ppm _v (80 % LEL)
Ammoniak	10 ppm _v	1 000 ppm _v (1 % LEL)	5 500 ppm _v (4 % LEL)	10 000 ppm _v (6 % LEL)
Bensin	10 ppm _v	900 ppm _v (6 % LEL)	3 000 ppm _v (20 % LEL)	5 000 ppm _v (36 % LEL)
Butan	10 ppm _v	850 ppm _v (4 % LEL)	4 450 ppm _v (23 % LEL)	8 000 ppm _v (42 % LEL)
Etanol	10 ppm _v	750 ppm _v (2 % LEL)	2 400 ppm _v (5 % LEL)	4 000 ppm _v (9 % LEL)
Etylenoxid	5 ppm _v	500 ppm _v (2 % LEL)	1 750 ppm _v (6 % LEL)	3 000 ppm _v (10 % LEL)
Kolmonoxid	5 ppm _v	500 ppm _v (0 % LEL)	7 750 ppm _v (6 % LEL)	15 000 ppm _v (12 % LEL)
Metan	10 ppm _v	1 000 ppm _v (2 % LEL)	10 500 ppm _v (20 % LEL)	20 000 ppm _v (38 % LEL)
Metanol	10 ppm _v	850 ppm _v (1 % LEL)	2 400 ppm _v (3 % LEL)	4 000 ppm _v (5 % LEL)
Propan	10 ppm _v	750 ppm _v (3 % LEL)	4 400 ppm _v (20 % LEL)	8 000 ppm _v (36 % LEL)
Svavelväte	1 ppm _v	50 ppm _v (0 % LEL)	280 ppm _v (1 % LEL)	500 ppm _v (1 % LEL)
Vätgas	5 ppm _v	250 ppm _v (1 % LEL)	1 600 ppm _v (4 % LEL)	3 000 ppm _v (8 % LEL)

Tabell 7.1: Indikeringsnivåer GASTRAC

De tål ångorna från blyad bensin, svavelhaltig gas och relativt höga gasdoser. Förhållanden som måste undvikas är dock:

- 1) Silikonhaltiga ångor.
- 2) Starkt korrosiv miljö. Höga koncentrationer av H_2S , SO_x , Cl_2 , HCl , etc.
- 3) Kontaminering av metalljoner (särskilt saltvattenspray). Detta kan leda till sensordrift.
- 4) Direktkontakt med vatten.

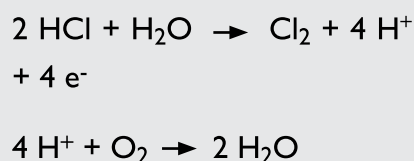
Utöver detta gäller att man bör undvika höga gaskoncentrationer under lång tid, lång lagringstid utan användning (kräver längre uppstartstid), långa användningstider i väldigt höga luftfuktigheter eller extrema temperaturer samt vibrationer eller kraftigt våld.

7.6 Elektrokemisk detektion

Detektorer som mäter gaskoncentrationen med elektrokemisk princip anses ofta vara ämnesspecifika. Det innebär att de är avsedda att endast mäta den gas för vilken mätcellen är utformad. Många tillverkare kallar dessa mätceller för toxic gas detectors vilket är lite missvisande eftersom det finns ett flertal giftiga gaser som inte kan mätas med elektrokemisk detektion, till exempel bensen. Mätcellerna är relativt billiga och ingår ofta i kombinationsinstrument som mäter flertalet gaser efter olika principer, till exempel explosimetrar. De flesta sensorer fungerar enligt samma principer men det kan finnas skillnader mellan tillverkare och modeller, så det kan vara en god idé att klargöra skillnader och begränsningar vid inköp.

En elektrokemisk sensor består generellt av tre huvudkomponenter: elektroder (en eller flera belagda med katalysator), elektrolyt och ett permeabelt membran. Gas diffunderar genom membranet och reagerar i gränsytan mellan katalysator och elektrolyt vilket leder till att en ström flödar i kretsen. Det vanligaste är att mätcellen är vattenbaserad. Mätceller för olika gaser fungerar efter olika kemiska

reaktioner. För gasformig saltsyra (väteklorid) gäller följande:



Instrumentet mäter strömmen i kretsen och översätter denna till gaskoncentration. Strömmen beror på antalet elektroner som avges. Eftersom denna direkt är proportionell mot antalet gasmolekyler som reagerar blir mätningen linjär.

De gaser som kan detekteras kan generellt beskrivas som "sura" gaser såsom klorgas (Cl_2), kolmonoxid (CO), koldioxid (CO_2), svaveldioxid (SO_2), vätesulfid (H_2S), vätecyanid (HCN) och väteklorid (HCl). De flesta detektorer som mäter syrekoncentration (O_2) fungerar också efter principen för elektrokemisk detektion. Mätning av syrgas kan vara viktig när en gas varken är explosiv eller giftig. En väldigt hög koncentration (över cirka 4 %) kan reducera syrehalten under säker nivå. Även om sensorerna är avsedda att mäta enbart en specifik gas så har nästan alla mer eller mindre tvärkänslighet mot andra ämnen. Den vanligaste tvärkänsligheten gäller vätgas och nästan alla CO-sensorer är känsliga för vätgas.

Andra exempel på tvärkänslighet är ammoniak-sensorer som är känsliga för svavelväte och CO-sensorer som är känsliga för etylenoxid. Känner man till känsligheten mot andra ämnen kan detta utnyttjas för att till exempel mäta svavelväte med ammoniaksensorn som i detta fall brukar ha en tvärkänslighet på 1:1.



Bild 7.15: Dräger Pac III med utbytbara sensorer (Bilder: Dräger)

Bild 7.15 visar en gasmätare som använder utbytbara elektrokemiska sensorer. Instrumentet

är litet och enkelt att handha, sensorer finns för cirka 25 – 30 olika gaser. I sensorerna lagras också inställningar som nivåer för förlarm och huvudlarm etc. En väl utförd kommunal riskanalys borde svara på vilka sensorer som kan vara aktuella att köpa in och ha i beredskap i den egna kommunen. Instrumentet ingår även i de statliga kemresurserna.

Livslängden för mätcellen beror på ett flertal faktorer: värme, luftfuktighet, ackumulerad gas (drifttid), etc. Vid normal användning ska mätcellen räcka i åtminstone ett år, i många fall även två. Kortvarig mätning av höga koncentrationer kan reducera känsligheten på kort sikt – på grund av diffusionstiden genom membranet (återhämtningstid). Man ska också säkerställa att inloppet till mätcellen inte sätts igen av smuts då detta påverkar diffusionen av gas in i instrumentet.

Vissa ämnen kan också förstöra mätcellen. Ett känt exempel är metanol som kan ödelägga en elektrokemisk sensor helt. Om responsen slås ut uppstår ett problem då instrumentet fortsätter visa 0 % koncentration även om gas finns närvarande. Det enda helt säkra testet är att testa mätcellens respons mot en känd gas för att göra ett funktionstest.

Elektrokemiska detektorer reagerar ganska långsamt på förändringar i gaskoncentrationen eftersom gasen måste ta tid på sig att diffundera in i mätcellen. Även om mätsensorns känslighet är linjär så är responstiden en logaritmisk funktion. De första gasmolekyler som diffunderar in genom membranet ger en snabb förändring i strömkretsen. När gaskoncentrationen inne i mätcellen stiger försvåras diffusionen och instrumentets utslag kommer allt långsammare närma sig omgivningens gashalt. Responskurvan för de bästa detektorerna ser nästan ut som en stegfunktion som snabbt ändrar utslag till omgivningens gashalt. Sämre instrument ger en långsammare förändring. Att tänka på är också att inversen till responskurvan beskriver den återhämtningstid som är nödvändig för att gasen ska diffundera ut ur provkammaren efter mätning.

Responskurvan beskrivs ofta med enbart ett fåtal punkter. Vanligast är att ange tiden till maximalt utslag (till exempel 10 minuter), tiden till 90 % av utslaget (T_{90}) och tiden till 50 % av utslaget (T_{50}). Ju lägre värden på dessa tider desto snabbare (och dyrare) sensor.

De flesta elektrokemiska celler kräver en konstant ström mellan elektroderna då ingen gas finns närvarande. Denna nollström kan ta en viss tid att stabilisera vilket kan ge en uppstartstid på upp till flera timmar för vissa instrument. För att undvika detta brukar batteriet ge en ström genom kretsen även när instrumentet inte används. Det är viktigt att kontrollera vad som gäller för ett instrument innan det används.

Känslighet anges ofta som minsta detekterbara nivå (minimum detectable level, MDL) och definieras generellt som den koncentration som ger ett utslag på tre gånger bakgrundsbruset. Denna nivå skiljer sig mellan olika ämnen som ska detekteras samt mellan olika tillverkare och instrument. Generellt kan sägas att även mycket låga koncentrationer – runt ett fåtal ppm_v – kan mätas med elektrokemisk detektion.

Alla elektrokemiska sensorer har en noll drift över långa tidsperioder och regelbunden kalibrering enligt tillverkarens anvisningar är därför nödvändig. Närvaro av störande gaser kan misstas för drift i utslaget. Vilka gaser som kan verka störande beror på vilken kemisk reaktion som används i den aktuella cellen. Vissa tillverkare levererar filter som blockerar vissa störande gaser som t ex H₂S och HCl.

Elektrolytet ger generellt en hygroskopisk effekt där mängden vatten i elektrolytet ställer sig i jämvikt mot fuktigheten i den omgivande luften. Eftersom vattnet ofta är en del i den kemiska reaktionen som styr mätutslaget kan livslängden försämrats avsevärt för detektorer som under lång tid befinner sig i mycket torra och varma miljöer. Det samma gäller vid konstant hög luftfuktighet eller om sensorn utsätts för höga luftflöden. För dessa miljöer finns ofta särskilt utformade instrument (gäller främst fast monterade gasvarnare i industriella applikationer).

7.7 Analysampuller

Kolorimetriska analysampuller har funnits inom räddningstjänsten i årtal för att användas vid gasindikering av giftiga gaser. Ofta har dessa ampuller kallats Drägerrör – efter en viss tidig och ledande tillverkare – reagensrör är ett annat förekommande namn. Här används det generella namnet analysampull. De är ett sätt att till ett lågt pris mäta toxiska gaser och ångor på ppm-nivå.

7.7.1 Funktion

Man kan bestämma koncentrationen av en specifik gas eller ånga genom att pumpa gasen genom en särskild ampull. Ampullen består av en glascylinder med hopsmälta ändar och är fylld med en massa (vanligen kiselgel) som är impregnerad med vissa kemikalier för att reagera med ett visst ämne. Utrustning finns av ett flertal olika fabrikat såsom Dräger, Auer, Gastec, RAE Systems med flera. Exempel på hur utrustningen kan se ut visas på bild 7.16.



Bild 7.16: Exempel på utrustning med analysampull (Bilder: RAE Systems, GASTEC)

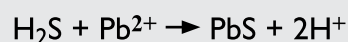
Varje ampull är anpassad för en speciell kemikalie eller grupp av kemikalier och varje ampull arbetar med en särskild kemisk reaktion. Den reaktion som uppstår vid mätning åstadkommer en färgförändring i ampullen. Analysampullerna är framför allt användbara när man vet vilken kemikalie som har läckt ut och man önskar göra en mätning av koncentrationen.

Det finns två olika typer av ampuller. Den typ som förekommer mest kallas här för färglängdsampuller. De visar gaskoncentrationen med en "färgstapel" som växer i proportion till gasens koncentration. Det uppmätta värdet läses av direkt mot en påtryckt skala.

Den andra typen kallas färgintensitetsampull. De erhåller en viss färgintensitet som är

proportionell mot gaskoncentrationen. Färgen jämförs med ampullens speciella färgintensitetsskala och i den positionen där färgerna överensstämmer kan gashalten avläsas.

Varje analysampull arbetar med en speciell kemisk reaktion. Detta kan exemplifieras med en ampull för mätning av svavelväte där svavelvätet reagerar med blyjoner och bildar svart blyulfid.



Detta innebär att 207,2 gram bly (1 mol) behövs för att binda 24 liter svavelväte (vid 20°C och 1 013 mbar). När provtagningsvolymen är en liter sträcker sig mätområdet mellan 1 och 20 ppm. Man kan nu räkna ut hur mycket bly som behövs för att binda den mängd svavelväte som finns i 1 liter luft vid halten 20 ppm.

Eftersom en liter luft då innehåller 20×10^{-6} liter H_2S och om mängden bly betecknas med X kan man sätta upp följande uträkning.

$$\frac{X}{20 \times 10^{-6}} = \frac{207,2}{24}$$

$$X = 1,73 \times 10^{-4} \text{ gram (0,173 mg)}$$

En analysampull måste vara helt fylld och reagensen jämnt fördelad i fyllningen. Eftersom innehållet väger ungefär ett gram kan man konstatera att bly utgör mindre än 0,02 % av fyllningen. Denna låga koncentration ställer stora krav på tillverkningen av ampullerna. Inte heller får fyllningen eller föroreningar reagera med blyet. Mängden verksamt bly skulle då minska och ampullerna bli oanvändbara.

I en del ampuller finns s k *försiktigt*. Detta skikt fungerar som filter för vissa störande ämnen medan den gas man vill mäta passerar opåverkad genom försiktigtet och reagerar i indikeringsskiktet. Försiktigtet används i sammanhang där särskilda störämnen förekommer.

I andra ampuller finns så kallad *omvandlingsskikt*. Skiktet omvandlar den gas som ska mätas till ett annat ämne som sedan reagerar i indikerings-skiktet. Omvandlingsskiktet används när det inte finns något lämpligt reagens för direkt bestämning av gaskoncentrationen.

Bild 7.17 visar skillnaden mellan en oanvänd och använd ampull. Den använda ampullen indikerar 50 ppm_v. Observera att pilen anger provluftens strömningsriktning.

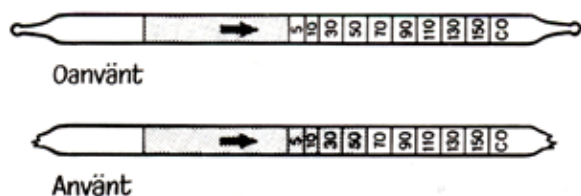


Bild 7.17: Skillnaden mellan oanvänd och använd ampull. Den använda ampullen indikerar 50 ppm

En utveckling av analysampullerna är Drägers CMS teknik (se bild 7.18). Även här sker en kemisk reaktion i en ampull men avläsningen sker automatiskt av ett elektroniskt instrument. Till instrumentet finns ämnesspecifika chip för 55 olika ämnen. Noggrannheten är normalt cirka ± 4 till 10 % av det avlästa värdet för de flesta gaser och ångor.



Bild 7.18: CMS-Chip Measurement System (Bilder: Dräger)

Det finns en närbesläktad mätteknik till analysampullerna där den kolorimetriska reaktionen istället sker på ett papper. Denna teknik används ofta vid mätning av isocyanater. Utrustningen ger snabb mätning och mycket god noggrannhet ner till ppb-nivå. För detta krävs optisk/elektronisk avläsning av färgintensiteten.

7.7.2 Störningar

När störämnen förekommer vid mätning med analysampuller kan det avlästa värdet bli helt missvisande. Ju större halten av störämnet är desto större blir missvisningen. Som exempel kan nämnas en ampull för svaveldioxid som ger missvisningar för ammoniak, klorväte, svavelväte och kvävedioxid i koncentrationer strax över respektive ämnes hygieniska gränsvärde.

I räddningstjänstsammanhang förekommer störämnen mest i samband med olyckor vid industrier och man bör därför så snart tillfälle ges kontrollera om det är fler än ett ämne som har kommit lös. I samband med transportolyckor är det däremot ofta fråga om endast ett ämne och man behöver sällan ta hänsyn till störämnen.

Ampullerna kan göra utslag även för andra ämnen än det som röret är avsett för. Det förekommer ofta och bör observeras särskilt noga så att man som identifiering inte bara nöjer sig med att ampullen ger ett utslag utan även kontrollerar till exempel fordonsmärkning, märkning och skaffar personlig information. Bild 7.19 visar utrustning för att mäta med flera ampuller samtidigt, vilket kan vara lämpligt om man inte är helt säker på vilken ampull man ska välja. De flesta



Bild 7.19: Mätning med flertalet ampuller samtidigt samt varmhållning av ampuller (Bilder: Dräger)

analysampuller är anpassade till temperaturområdet 10°C till 40°C. En del ampuller kan dock mäta i temperaturer ner till $\pm 0^\circ\text{C}$. I de lägre temperaturområdena kan vissa ampuller ge en missvisning, vilket enligt tillverkarna kan tillrättaläggas genom att öka antalet pumpslag, från t ex 10 till 16 för att skalan ska gälla. Ampullernas temperaturberoende finns angivet i respektive bruksanvisning.

Ett mer fältmässigt sätt att komma bort från detta problem är att förvara analysampullerna i en värmeisolerad låda (av t ex frigolit). De blir då inte nedkylda vid kortvariga utomhusvisningar. När man tagit ampullerna från lådan ska de förvaras i en varm ficka tills de används och under provtagningen ska man om möjligt hålla en bar hand runt ampullen för att undvika nedkylning. Genom att behandla alla ampuller på detta sätt under den kalla årstiden behöver man inte ta någon hänsyn till rörens temperaturberoende. En särskild utrustning för varmhållning visas på bild 7.19.

Fuktigheten kan också ha viss inverkan på mätresultatet. Missvisning uppstår framför allt vid mycket torr luft (0-10 % relativ fuktighet) och vid mycket fuktig luft (90-100 % relativ fuktighet). Vid mätningar i samband med räddningstjänst är det normalt inte praktiskt tillämpligt att göra korrigeringar för fuktig eller torr luft. Om ampullens temperatur är omkring 20°C vid mättillfället så ger onormala fuktighetsvärden en missvisning som normalt kan bortses ifrån. Här föreligger ännu ett skäl att hålla analysampullerna varma.

Mätresultatet är direkt proportionellt till förhållandet mellan tryck och rådande lufttryck (1013 är rådande tryck i millibar). Eftersom tryckvariationerna - och därmed också missvisningen - sällan överstiger fyra procent kan man bortse från tryckets inverkan på mätresultatet.

7.7.3 Mätområden

Analysampullerna är oftast kalibrerade för mätningar omkring respektive ämnes hygieniska gränsvärde. Dessa halter är dock ofta för låga för att vara användbara i räddningstjänst-sammanhang. Man behöver mätområden som börjar vid hygieniska gränsvärdet och sträcker sig till 100 eller 500 gånger dessa halter.

Många ampuller klarar att öka mätområdet i tillräcklig omfattning. En förutsättning för detta är att ampullens kalibreringskurva är rätlinjig. Man kan då lätt variera antalet pumpslog och på det viset förändra mätområdet. Bild 7.20 och 7.21 visar vad som menas med linjär respektive olinjär kalibreringskurva. På senare tid har det kommit fram ampuller

som är kalibrerade för avsevärt högre halter än det hygieniska gränsvärdet.

I stället för att variera antalet pumpslog kan man då välja olika ampuller beroende på koncentrationen. Som exempel kan nämnas GASTEC:s ampuller för ammoniak som förekommer i fem olika varianter:

1. 3 N med mätområdet 0,2 – 32 vol%
2. 3 M med mätområdet 10 – 1 000 ppm_v
3. 3 HM med mätområdet 0,05 – 3,52 vol%
4. 3 LA med mätområdet 2,5 – 200 ppm_v
5. 3 L med mätområdet 0,5 – 78 ppm_v

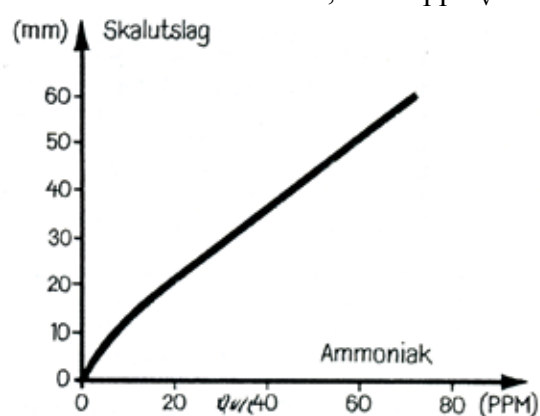


Bild 7.20: Exempel på rätlinjig kalibreringskurva som tillåter förändring av mätområdet från 5-70 ppm till 50-700 ppmv (Dräger ammoniak 5/a)

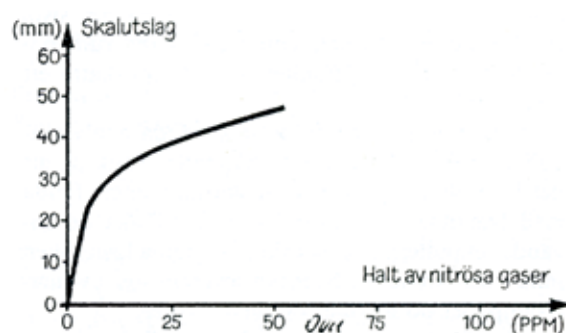


Bild 7.21: Exempel på kalibreringskurva som inte medger förändring av mätområdet (Auer Nitr-0,5)

I bruksanvisningarna för respektive ampull finns angivet om man kan förändra mätområdet. När man önskar utvidga mätområdet till att gälla högre halter ska man pumpa färre slag än normalt. När man använder en sådan ampull, t ex en ampull för ammoniak med mätområdet 5-70 ppm_v vid tio pumpslog, ska man göra omräkningar enligt tabell 7.2.

n	n/n ₀	Skala (ppm _v)	Omräkningsfaktor n ₀ /n	Omräknad skala
1	1/10	5 - 70	10	50 - 700
2	2/10	5 - 70	5	25 - 350
5	5/10	5 - 70	2	10 - 140
10	10/10	5 - 70	1	5 - 70

Tabell 7.2: Omräkning av skala, n₀ = antal pumpslag vid vilken skalan gäller, n = antal gjorda pumpslag.

På det här viset kan ett mätområde utsträckas 5 – 700 ppm_v om mätområdet är linjärt. Vid fältmässiga mätningar är det lämpligt att använda det i tabellen upptagna antalet pumpslag, eftersom det då är lätt att göra överslagsberäkningar. Vid pumpning börjar man med ett pumpslag. Därefter gör man en avläsning. Om ingen färgförändring syns gör man ytterligare ett pumpslag. Syns fortfarande ingen färgförändring gör man ytterligare tre pumpslag så att man nu totalt har gjort fem pumpslag. Har ännu ingen färgförändring uppstått fortsätter man till tio pumpslag.

När man ska anskaffa gasindikeringsutrustning bör man bland annat tänka på att välja ett fabrikat som erbjuder breda mätområden för de kemikalier som är aktuella i kommunen eller industrin.

7.7.4 Avläsning

På vissa ampuller kan färgomslaget förändras en kort tid efter provtagningen. Därför ska man alltid avläsa utslaget omedelbart efter mätningen. Man kan göra markeringar (avläst halt, tid) med en sprit- eller blyertspenna direkt på ampullen. Se efter så att inte hela indikeringsskiktet eller förskiktet (när sådant finns) har ändrat färg. Om så har skett har ampullen överbelastats och resultatet ska förkastas. Vid avläsning är det till god hjälp att jämföra den använda ampullen med en oanvänd ampull för att se hur stor del som har färgförändrats.

Ibland kan det vara svårt att avgöra hur långt färgförändringen har sträckt sig. Om färgfronten inte är helt skarp ska man avläsa på det sista färgförändrade kornet. Om färgfronten runt om är sned - snurra ampullen och uppskatta ett medelvärde.

Den tid det tar att mäta gaskoncentrationen varierar beroende på fabrikat, analysampuller och mätområde. Den kortaste tiden är omkring fem sekunder och den längsta upp till 20 minuter. 20 minuter är en lång tid i räddningstjänstsammanhang, men fem sekunder är heller inte bra. Tillfälliga variationer i gaskoncentrationen kan få alltför stor betydelse vid mätningen. Det mest fördelaktiga torde vara upprepade mätningar där varje mätning tar cirka en minut. På ampuller som har omkring 15 sekunders mättid bör man därför göra fyra mätningar på samma plats och uppskatta medelvärdet. På rör som har 30 sekunders mättid kan man nöja sig med två mätningar. Man ska alltså se till att man har en total mättid på minst en minut för att få ett tillförlitligt värde på gaskoncentrationen. Inomhus varierar inte gaskoncentrationen så mycket och där kan man nöja sig med en mätning på varje plats.

Släng inte utan vidare bort använda analysampuller i papperskorgar eller liknande. Tänk på att det är fråga om glaströr med skarpa kanter, fyllda med frätande kemikalier. Stoppa tillbaka de använda ampullerna i sina askar och tejpa igen asken innan den kasseras. Svenska leverantörer av analysampuller bör ta emot använda ampuller.

7.7.5 Pumpar och handhavande

Den pump som används till att suga gas genom ampullerna måste vara av samma fabrikat som ampullerna. Det beror på att ampullerna är kalibrerade för en viss pumpvolym och att det finns variationer i ampullernas sugmotstånd och pumparnas undertryck. Dessutom kan ampullernas diameter variera mellan de olika fabrikaten så att ampuller inte passar i pumpar av annat märke.

På varje pump finns ett särskilt litet hål där man ska bryta av ampullens glasspetsar. Det får alltså inte göras i själva pumphuvudet. När man bryter av spetsarna bör man hålla pumpen på lite avstånd från ansiktet och titta bort från pumpen eftersom det kan stänka lite glas.

Om en pump inte suger rätt gasvolym blir mätvärdet felaktigt. Därför måste man kontrollera pumpens funktion för att se om det finns något läckage eller någon igensättning. Kontrollen ska göras efter varje användning eller minst en gång per halvår. Då är man förvissad om att pumpen fungerar nästa gång den ska användas och man håller uppsikt över gummidetaljernas åldrande. När man använder pumpen i brådsakande räddningstjänstsammanhang behöver man därför inte först göra en tidsödande täthetskontroll, utan kan påbörja mätningen direkt.

Vissa gaser kan verka frätande på pumpens innandöme om de inte snabbt avlägsnas. Gaserna kan komma från den miljö man mäter i eller från den reaktion som sker i analysampullerna. Ta därför till vana att alltid ventilerar pumpen genom att slå några pumpslag i en ren miljö och utan ampull i pumpen.

Efter en tids användning kan det finnas anledning att byta ut någon detalj i pumpen eller smörja någon packning. Efter varje sådant arbete ska man göra en volymkontroll av pumpen. Det kan man göra med en "bubbelmätare" och såplösning och på så sätt bli förvissad att rätt luftmängd suges genom ampullen vid provtagning. Närmare beskrivning av hur volymkontroll går till finns i tillverkarnas bruksanvisningar.

7.7.6 Några nackdelar med analysampuller

Analysampullerna är relativt billiga men har en del begränsningar:

- Gasmätningen ger endast en ögonblicksbild av koncentrationen. Ampuller kan inte ge en kontinuerlig mätserie med alarmfunktion och är därför inte lämpade för personligt skydd eller för övervakning av en för tillfället säker situation.
- På grund av att mätvärdet är resultatet av en enskild punktmätning påverkas detta alltför mycket av dålig provtagningsteknik, för liten provtagningsvolym, vindrörelser, felaktigt provställe, m m.
- Avläsningen är föremål för en subjektiv tolkning.

- Analysampuller ger ett förhållandevis långsamt provsvar. Det handlar om minuter jämfört med andra tekniker som visar mätningen efter sekunder.
- Felmarginalen i mätningen är relativt stor. Förutom dålig provtagningsteknik ligger felmarginalen runt 15 – 25 %. Om analysen visar 100 ppm_v kan det rätta värdet ligga mellan 75 till 125 ppm_v.
- Användning av ampullerna genererar kemiskt avfall och splittrat glas.
- Ett antal av analysampullerna för speciella kemikalier är förhållandevis dyra.
- Ampullerna måste användas inom en viss tid, vilket genererar kontinuerliga kostnader för att hålla ampullportföljen uppdaterad.
- Analysen kräver att man vet vilken kemikalie som ska analyseras och att lämplig ampull för detta införskaffats innan räddningstjänstsituationen.

Som framgått finns begränsningar i ampullernas användningsområde. Om man iakttar anvisningarna är analysampullerna emellertid en enkel, billig och fältmässig metod för att mäta koncentrationer av en känd gas.

En del av de begränsningar som tagits upp gäller inte de system som använder elektronisk avläsning, t ex Dräger CMS.

7.8 Fotojonisation (PID)

Fotojonisationen för gasindikering i räddningstjänstsammanhang tog sina första steg ut ur laborativvärlden på 1970-talet för att användas vid kemiskt kontaminerade områden. Tekniken hade brister i form av höga kostnader, bristande tillförlitlighet, otymplig utrustning, känslighet för luftfuktighet och radiostörningar. Det krävdes cirka 25 års utveckling innan tekniken på allvar blev ett framstående alternativ vid räddningstjänst.

Dagens moderna apparater är relativt okomplicerade att använda, har hög tillförlitlighet, kräver lite underhåll, täcker ett stort antal ämnen och är sådär halvdrya vid inköp. Instrumenten mäter gaskoncentrationer i området 0 – 10 000 ppm_v (0 – 1 vol%) med en möjlig upplösning så låg som på ppb_v-nivå. Noggrannheten i mätningen ligger normalt

runt 10 % av det avlästa värdet. På grund av sin höga känslighet för organiska föreningar är PID-detektorn ett möjligt hjälpmedel för att detektera rester från brännbara vätskor vid brandutredningar, men detta område behandlas inte här.

Principen för fotojonisation (Photo Ionization Detection, PID) är att när en foton (energikvantum) med tillräckligt hög energi träffar en gasmolekyl absorberas fotonen (energikvantat) och en elektron frigörs. Kvar av molekylen blir då en positivt laddad jon. Processen kallas *fotojonisation*. Denna process observerade Hertz och Hallwachs med flera för fasta ämnen runt år 1890. I detektorn flödar både den frigjorda elektronen och den positivt laddade gasjonen i ett pålagt elektriskt fält. Den elektriska strömmen i fältet blir proportionell mot koncentrationen av gasen som detekteras. Som källa för fotoner används en lampa som sänder ut ultraviolett ljus. Olika lampor kan användas som sänder ut olika energinivåer.

Bild 7.22 nedan försöker åskådliggöra fotojonisation av en gasmolekyl. Fotoner från UV-lampan träffar gasmolekyl som bildar en positiv jon som rör sig i det pålagda elektriska fältet åt motsatt håll som den frigjorda elektronen. Själva detektionen sker genom en mätning av strömmen i kretsen.

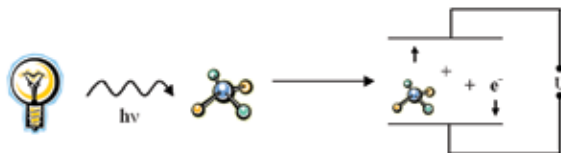


Bild 7.22: Principen för gasdetektion med fotojonisation.

Från början betraktades som sagt fasta ämnen och bindningsenergin kom att kallas materialets "Work function", på svenska "utträdesarbetet". Endast om fotonenergin överstiger bindningsenergin för den lösast bundna elektronen kan bestrålningen leda till elektronemission från gasen som utsätts för ljusstrålningen. Den energinivå som krävs för att jonisera enskilda ämnen kallas här för jonisationspotential och anges i elektronvolt (eV). Denna potential är ämnesspecifik

och för mätning krävs att lampans energinivå överstiger denna energi. Exempel på värden på denna jonisationspotential återfinns i bilaga B.



Bild 7.23: Exempel på fotojonisationsutrustning (Bilder: RAE Systems, Dräger, RAE Systems)

Bild 7.23 visar tre exempel på utrustning som fungerar med fotojonisation som mätprincip. Det högra instrumentet kombinerar flera mätprinciper – vilket är vanligt bland moderna instrument – och kan vara utrustat med upp till fem mätceller.

7.8.1 Fördelar och begränsningar

Den stora fördelen med PID-tekniken är att det för många ämnen går att genomföra tillförlitliga mätningar med kort responstid både vid den toxiska nivån och upp till 10-20 % av den undre brännbarhetsgränsen.

Vissa ämnen har en jonisationspotential som överstiger den energi som de vanligaste lamporna emitterar (maximalt 11.7 eV). En anledning till att ämnen med en jonisationspotential över 11.7 eV inte går att mäta är att energin överstiger jonisationspotentialen för de gaser som normalt finns i luften (N_2 , O_2 , H_2O , CO_2). Dessa skulle då störa mätningen kraftigt.

I räddningstjänstssammanhang kan här nämnas några gaser där fotojonisationsinstrument inte går att använda:

- Ämnen i luften: kvävgas (N_2), syrgas (O_2), koldioxid (CO_2), vattenånga (H_2O)
- Naturgas: metan (CH_4), etan (C_2H_8)
- Vissa toxiska ämnen: acetonitril (CH_3CN), kolmonoxid (CO), kväveoxid (NO), vätecyanid (HCN), svaveldioxid (SO_2)

- Gasformiga syror: saltsyra (HCl), salpeter syra (HNO₃), fluorvätesyra (HF)
- Vissa klorerade kolväten: freoner
- Icke-flyktiga ämnen: PCB, smörjolja mm
- Övrigt: vätgas (H₂), ozon, väteperoxid (H₂O₂)

I bilaga B framgår mer detaljerat vilka ämnen som inte ger något mätvärde beroende på vilken lampa som är installerad i utrustningen.

7.8.2 Korrektionsfaktorer

Liksom explosimetern är fotojonisationsdetektorn kalibrerad mot en referensgas (vanligen isobuten). För alla andra gaser har instrumentet en annan känslighet. Denna skillnad i känslighet beskrivs av en korrektionsfaktor, CF. Känner man till vilken gas som ska mätas och dess korrektionsfaktor kan den rätta koncentrationen beräknas enligt:

$$C_{\text{verklig, NH}_3} = C_{\text{isobuten}} \times CF_{\text{NH}_3, 10.6 \text{ eV}}$$

där

$C_{\text{verklig, NH}_3}$ = Verklig koncentration ammoniak (i ppm_v)

C_{isobuten} = Avläst koncentration för apparat kalibrerad med isobuten (i ppm_v)

$CF_{\text{NH}_3, 10.6 \text{ eV}}$ = korrektionsfaktor för ammoniak med 10.6 eV lampa = 9.7

Korrektionsfaktorer tenderar till att vara apparatberoende och det kan därför vara bra att tänka på att införskaffa en utrustning där många korrektionsfaktorer medföljer. I modern utrustning finns korrektionsfaktorerna lagrade i utrustningen och det är bara att välja vilket ämne som ska mätas och direkt läsa av den rätta koncentrationen på displayen.

För att förenkla handhavandet med korrektionsfaktorer finns tabeller att tillgå där till exempel 10 % av LEL uttrycks som isobutylenheter, dvs det utslag instrumentet ger då det inte är inställt för ett specifikt ämne. På så vis kan man förenkla handhavandet av instrumentet och istället ha med sig en lista

på de vanligaste kemikalierna. Det finns även en tumregel att ett utslag på 1000 ppm isobutylenheter är en konservativ skattning av 10 % LEL för de flesta vanliga kolvätena.

Då korrektionsfaktorerna är skalfaktorer som direkt beskriver mätmetodens känslighet mot olika ämnen (ju lägre korrektionsfaktor ju känsligare mätning) kan ett par tumregler tas fram vid användning för att bedöma hälsofaran:

1. Om en kemikalie är väldigt giftig bör PID-utrustningen vara känslig mot ämnet i fråga. Om gränsvärdet understiger 10 ppm_v bör korrektionsfaktorn för ämnet inte överstiga 1,0. Exempel: Bensen bedöms som giftigt redan vid 1 ppm_v och har en korrektionsfaktor runt 0,5.
2. Om gränsvärdet då kemikalien bedöms som giftig överstiger 10 ppm_v bör korrektionsfaktorn understiga 10. Exempel: Ammoniak bedöms som giftigt runt 25 ppm_v och har en korrektionsfaktor på 9,7.
3. Om kemikaliens korrektionsfaktor överstiger 10 är PID endast lämpligt för att bedöma hälsofaran om ämnet har mycket högt gränsvärde.

Korrektionsfaktorer för ett stort antal ämnen återfinns i bilaga B. Dessa är hämtade från RAE Systems och bör endast användas ihop med deras utrustning.

7.8.3 Val av energinivå på lampan

Mätutrustning med fotojonisationsdetektor levereras normalt med tre olika lampor: 9.8 eV, 10.6 eV och 11.7 eV. Vid en första anblick kan det tyckas mest lämpligt med en 11.7 eV lampa då flest ämnen kan joniseras vid den energin. Dock bör följande beaktas vid valet av lampa:

- 9.8 eV och 10.6 eV-lampor ger ofta högre känslighet och noggrannhet än 11.7 eV.
- 11.7 eV lampan kostar mer.
- 11.7 eV-lampan har kortare livslängd än 9.8 och 10.6. Detta beror på att 11.7 eV lampan har ett glas av Litiumfluorid för att

släppa ut UV-ljuset med hög energinivå. Litiumfluorid är känsligt för fukt (hygro-skopiskt) och bryts ned av UV ljuset vid användning.

11.7 eV lampor bör således endast användas då man förväntar sig ämnen som kräver en jonisationsenergi över 10.6 eV, till exempel metylklorid, kloroform eller formaldehyd. En lösning är att ha en 11.7 eV lampa i särskild förpackning med silicagel eller omgiven av samma gas som inuti lampan och bryta förpackningen endast då lampan behöver användas.

7.8.4 Störningar

En fördel med PID är att detektorprincipen i stort sett är helt linjär upp till ett par tusen ppmv vilket innebär att mätnoggrannheten blir relativt oberoende av koncentrationen. Vid högre gaskoncentrationer blockeras dock en del av gasmolekylerna från att träffas av UV-ljuset och känsligheten sjunker. Ska utrustningen användas för mätning av höga koncentrationer bör den kalibreras särskilt för detta.

Mätningen kan också påverkas av luftfuktigheten och störas i närvaro av andra gaser, som metan. En ökning från 10 % RH upp till 90 % RH kan reducera känsligheten i mätningen med upp till 50 %, vilket visas på bild 7.24. Detta beror på att vattenmolekylerna blockerar en del av UV-ljuset även om ingen jonisation sker.

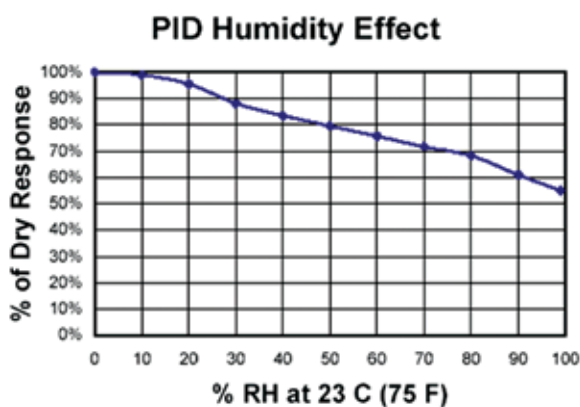


Bild 7.24: Effekten av relativ luftfuktighet för MiniRAE 2000 (RAE Systems, 2001b)

På samma sätt kan närvaro av 10 vol% metan reducera mätningen med faktor fem och de flesta andra organiska ämnen har liknande effekt. Många oorganiska gaser såsom argon, syre, kväve, vätgas och koldioxid påverkar däremot nästan inte alls mätningen.

7.8.5 Alarmnivåer

Det kan vara bra att fundera igenom hur alarmfunktionen fungerar på ett så känsligt instrument som en fotojonisationsdetektor. Risken finns att larmet piper allt för ofta och att respekten för detta därmed går förlorad. Larmnivån bör sättas utifrån lämpliga toxikologiska data med hänsyn taget till vilken taktisk inriktning (syfte) mätningen har.

Problem kan uppstå med vilken larmnivå som är lämplig då blandningar av olika ämnen ska detekteras. En strategi kan vara att använda korrektionsfaktor och larmnivå anpassad efter den giftigaste kemikalien och ett annat angreppssätt kan vara att välja det ämne som förekommer mest eller det som har högst ångtryck.

Uppstår osäkerhet kan följande uttryck användas (RAE Systems, 2001):

$$EL_{mix} = \frac{I}{X_1 | EL_1 + X_2 | EL_2 + \dots + X_i | EL_i}$$

där

EL_i = gränsvärde (exposure limit) för ämne i

X_i = molfraktion (vol%) av ämne i

På samma sätt räknas korrektionsfaktorn fram enligt:

$$CF_{mix} = \frac{I}{X_1 | CF_1 + X_2 | CF_2 + \dots + X_i | CF_i}$$

där

CF_i = korrektionsfaktorn för ämne i

X_i = molfraktion (vol%) av ämne i

7.8.6 Underhåll

Normalt är behovet av underhåll på utrustning för fotojonisation ganska minimalt. Ibland kan dock behov finnas av att rengöra lampan och sensorn även om alltför mycket rengöring i längden kan skada utrustningen. Följande är indikationer på att rengöring kan behövas:

1. Det avlästa värdet kryper upp från noll utan närvaro av gas.
2. Utrustningen har utsatts för fukt.
3. Det avlästa värdet stabiliseras inte vid mätning i konstant gaskoncentration (märks främst vid kalibrering).

Hur rengöringen utförs beskrivs av tillverkaren.

7.9 Flamjonisation(FID)

Närbesläktat med fotojonisationen är flamjonisation, Flame Ionization Detectors (FID). Även här joniseras gasen men istället för ultraviolett ljus används en vätgasflamma. Fotojonisation (PID) och flamjonisation (FID) brukar i vissa sammanhang på engelska generiskt kallas för Organic Vapor Analyzers (OVAs). Mätprincipen är mycket likartad och skillnaden kan populärt beskrivas som skillnaden mellan meter och fot. De är effektiva att mäta ungefär samma ämnen, men fotojonisationsinstrumenten är mindre, enklare att använda och kostar mindre.

Detektorn är känslig mot ett stort antal ämnen men är av mindre betydelse i räddningstjänst-sammanhang. Mest beroende på att storlek och vikt gör det svårt att utforma fältmässiga apparater men också på grund av något högre kostnad och det faktum att en brinnande vätgasflamma måste bäras runt, vilket till exempel innebär att en cylinder med vätgas måste medtas. Flamjonisationsinstrument kräver också något mer underhåll.

Mätmetoden är mycket linjär och signalen beror nästan direkt på antalet kolatomer närvarande i gasprovet. Koldioxid (CO_2) detekteras inte, men detta är ofta inget problem. Den riktigt stora användningen av flamjonisation är som detektor vid gasanalys med gaskromatografi på laboratorier. Då är okänsligheten

mot koldioxid ofta en fördel då denna kan användas som bärgas i kromatografen.

Den stora fördelen med flamjonisation är att mätmetoden generellt är helt oberoende av närvaron av vattenånga i luften. Instrumenten återfinns därför i sammanhang där gaser ska detekteras i miljöer med mycket hög luftfuktighet.

7.10 Jonmobilitets-spektroskopi (IMS – Ion Mobility Spectrometry)

Ytterligare ett sätt att jonisera gasmolekyler är genom att bestråla gasen med radioaktivt sönderfall. Detta är grunden för jonmobilitets-spektroskopiinstrumentet RAID-1 som finns i nationell beredskap för att mäta kemiska stridsmedel.

Förutom för att mäta olika stridsgaser kan instrumentet även användas för vissa civilt förekommande giftiga gaser. I bruksanvisningen anges att instrumentet klarar av att mäta ammoniak, klorgas, vätecyanid och svaveldioxid. Mätprincipen borde dock fungera även för andra gaser.

Bild 7.25 visar principen för detektionen. Gasen som kommer in i instrumentet joniseras med hjälp av β -sönderfallet från den radioaktiva isotopen Nickel-63. Efter att ha bromsats upp vid ett omkopplingsgaller leds gasjonerna sedan in i ett elektriskt fält och separeras på grund av skillnader i sin mobilitet. I änden på provkammaren sitter en kollektor som samlar upp jonerna och intensiteten mäts. Olika joner når kollektorn efter olika tider och på så sätt kan instrumentet avgöra vilket ämne som detekteras.

Själva mätningen sker vid cirka 70°C i cykler med mätning och återspolning (omkoppling av gasens flödesriktning). Vid mätning av toxiska gaser sker mätning i 50 sekunder och återspolning i 10 sekunder. Till instrumentet finns en särskild fordonshållare som gör att det är möjligt att montera apparaten i ett fordon och kontinuerligt mäta omgivande luft via en anslutningsslang. Avläsning kan då ske via en fast monterad slavindikator inne i fordonet.

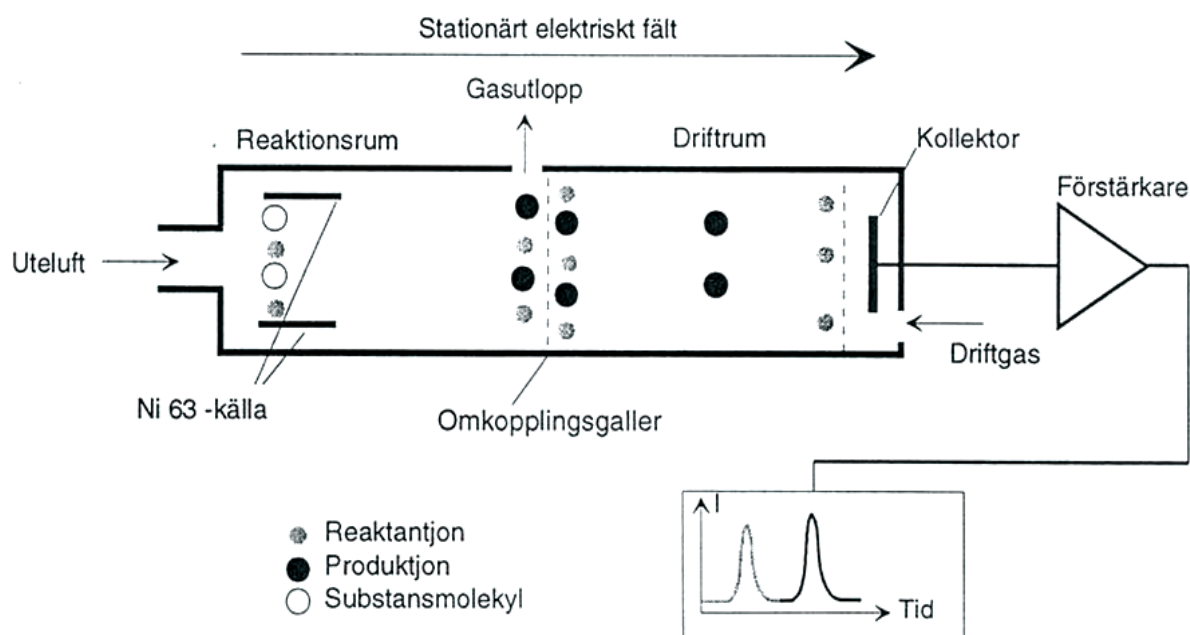


Bild 7.25: Principen för jonmobilitetsspektroskopi i RAID-1 (Bild: Räddningsverket)

7.11 Infraröd detektion (IR)

Infraröd detektion används främst i gasvarnare i fasta industriella tillämpningar eller i analyssammanhang på laboratorier men principen förekommer även i viss portabel utrustning.

Detektionen fungerar genom att mäta hur gasen absorberar en förutbestämd våglängd inom det infraröda (IR) området. Olika gaser kan sägas ha olika fingeravtryck i det infraröda området baserat på dess molekylstruktur. Framför allt är det olika typer av bindningar (C-H, C=H, etc) som absorberar infrarött ljus i olika våglängder. För en enkel gasvarnare kan då en lämplig våglängd förutbestämmas och absorptionen blir proportionell mot mängden gas som finns närvarande mellan IR-lampa och detektor.

Våglängden (vågtalet) hos IR-ljuset väljs för den typ av gas som ska detekteras. Om till exempel enkla kolväten ska mätas kan en våglängd som absorberas av C-H bindningen väljas. Metan har fyra C-H-bindningar. Den ger då ett utslag direkt relaterat till dessa fyra bindningar. Om istället butan finns närvarande

så har den tio C-H bindningar vilket ger fler bindningar per volym gas. Detta ger då ett större utslag i detektorn.

IR-detektion har två klara fördelar jämfört med många andra tekniker. Då speciella bindningar finns närvarande kan utrustningen ställas in så att mätningen inte påverkas av andra gaser. Till exempel kan man skilja på propan och eten om detektorn kan ställas in för att enbart detektera dubbelbindningen (C=C) i eten. Propanet blir då osynligt för detektorn. Vidare kan utrustningen sättas upp så att lampa och fotocell (mottagare) placeras långt ifrån varandra. På så sätt kan en sträcka på upp till hundra meter mätas och eventuella gasläckage upptäckas. Utrustning för IR-mätning kan fås inom ganska stora mätintervall men kan kosta förhållandevis mycket.

7.12 Taktisk användning

Vid framkomst till en olycksplats där en kemikalie har kommit lös kan man inte alltid förlita sig på att den subjektiva bedömningen av gaskoncentrationen är riktig och behovet av ett gasmätningssinstrument kan därför vara stort.

Av den personal som kan finnas på en sådan olycksplats (räddningstjänstpersonal, polis, sjukvårdspersonal, kemisk expertis från t ex berörd industri) är räddningstjänstpersonalen eller kemisk expertis de som kan ha utbildning och erfarenhet av gasmätningens instrument och dessa är följaktligen bäst lämpade att utföra mätningarna. Man bör se till att det i varje arbetsskift finns minst en person ur utryckningsstyrkan som är väl förtrogen med instrumenten.

Då gasindikering inte används regelbundet inom räddningstjänsten dyker ofta ett flertal frågor upp kring hur mätningarna ska gå till. Hur ofta ska man mäta? Var ska man mäta? Hur mycket personal går det åt? Vilken utrustning ska man använda? Hur ska rapportering och bokföring ske?

Den kanske viktigaste frågan man inledningsvis bör ställa sig är varför man ska mäta. Vad vill vi uppnå med mätningen och vilka beslut ska mätningen ligga till grund för? Exempel på beslut som kan behöva stödjas på information från gasindikering kan gälla: *skyddsutrustning, riskområde, utrymning, inrymning, etc.* Om det finns särskilda risker t ex tändanledning eller fastklämd människa, kan besluten på fler användningsområden vara av vikt för: *användning av inertgas, avlägsnande av tändkälla, losstagning, behov av revitox/oxyvac etc.* Slutligen, när gaskoncentrationen avtagit, kan beslut om *lättnader i skyddsutrustning* och *minskning av riskområde* stödjas på gasindikering.

Observera att det är mycket viktigt att känna till vilka instrument som kan användas i en explosionsfarlig miljö!

För att ge vissa synpunkter på en del av de frågeställningar som kan dyka upp har detta kapitel om taktisk användning delats upp på ett antal olika uppgifter där gasindikering kan användas inom räddningstjänsten. De användningsområden som identifierats här är:

- För att säkert närma sig ett gasutsläpp/vätskepöl.
- För att lokalisera en läcka.
- För kontroll efter sanering av kläder och utsläpp.
- För personligt skydd.
- För mätning inne i gasmolnet för att avgöra om enförändring av utsläppet sker.
- För att mäta en taktisk linje (skyddsperimeter), vilket kan krävas för att vidta rätt åtgärder om situationen hotar allmänheten.
- För att avgöra om jordmassor blivit förorenade av utsläppet.
- För gasfrihetsförklaring i samband med heta arbeten (inte räddningstjänst).

Dessa tas upp i efterföljande underrubriker var för sig. Utöver vad som är beskrivet i denna skrift rekommenderas att europastandarden EN 50073:1999 (CENELEC, 1999) införskaffas. Där återfinns praktiska råd för att bistå användaren vid detektering av brännbara gaser.

För att koppla mätningarna till uppgifter från olika beslutsstöd kan det ibland vara nödvändigt att räkna om olika gaskoncentrationer mellan olika enheter. Då kan följande fältmässiga lathund användas:

$$1 \text{ vol } \% = 10\,000 \text{ ppm}_v$$

och

$$C_{\text{ppm}_v} = 24 \times \frac{C_{\text{mg/m}^3}}{M}$$

eller

$$C_{\text{mg/m}^3} = M \times \frac{C_{\text{ppm}_v}}{24}$$

där

C_{ppm_v} = Koncentrationen i ppm_v

$C_{\text{mg/m}^3}$ = Koncentrationen i mg/m^3

M = Gasens molekylmassa i kg/kmol = $29 \times \text{Densitetstal}$

7.12.1 Att säkert närma sig ett gasutsläpp/vätskepöl

För att säkert kunna närma sig ett gasutsläpp eller en vätskepöl krävs kunskap om vilka risker som föreligger. I de fall man inte vet vilken kemikalie det handlar om kan det vara svårt att veta vilket instrument och vilka inställningar som ska användas vid mätning för att säkert närma sig utsläppet/vätskepölen.

I en sådan situation torde det mest lämpade instrumentet för denna uppgift vara en explosimeter i kombination med ett instrument för fotojonisation utan korrektionsfaktor (inställt för isobuten) eller ett halvledarinstrument. En generell tumregel är att ett fotojonisationsinstrument med en 10.6 eV lampa och en larmnivå på 50 ppm_v som inte piper ger tillfredställande skydd mot drygt 50 vanligt förekommande kemikalier (RAE Systems, 2001a). Om man tidigt vet vilken kemikalie som ska detekteras kan utöver ovan nämnda även elektrokemisk detektion vara en lämplig mätmetod.

På grund av vindförhållanden och trögheten i vissa mätningar bör flera mätinstrument användas. Det kan därför vara lämpligt att satsa på små handburna instrument som går att fästa på flera i personalen.

Mätresultaten kan användas för att fatta beslut om omedelbara åtgärder i riskområdet och om behov av skyddsutrustning för räddningspersonalen.

7.12.2 Att lokalisera en läcka

Inför uppgiften att lokalisera en eventuell läcka bör räddningsledaren veta vilken kemikalie det handlar om. För att lokalisera en läcka krävs ingen detaljerad koncentrationmätning utan det är viktigare att mätningen kan ske kontinuerligt och snabbt uppdateras.

För detta ändamål är ett halvledarinstrument att föredra. Ett populärt sådant inom svensk räddningstjänst som lämpar sig väl för att lokalisera en läcka visas på bild 7.26.

Även ett enklare fotojonisationsinstrument kan användas, men då måste man säkerställa att ämnet kan joniseras med aktuell fotoenergi.



Figur 7.26: GASTRAC indikeringsinstrument för läcksökning (Bild: Räddningsverket)

Vid utsläpp av kondenserade eller komprimerade gaser kan eventuellt även värmekamera användas för läcksökning då temperaturen sjunker när gasen expanderar vid utsläppsstället. Kameran kan även användas för att lokalisera kemiska reaktioner där värme utvecklas.

7.12.3 Kontroll efter sanering

Sanering sker dels då kemdykare ska lämna den inre avspärrningen och dels då ett utsläpp ska städas bort och räddningstjänsten avslutas. Om ämnet är toxiskt eller brandfarligt är det viktigt att kunna bedöma om saneringen är tillräcklig. Om dåligt sanerade kemdykare vandrar runt bland den övriga räddningspersonalen kan dessa utsättas för onödiga risker.

Mest lämpat är ett enklare fotojonisationsinstrument som kan mäta kontinuerligt. Dessa instrument är mycket känsliga och mätningen uppdateras mycket snabbt. Användningen av korrektionsfaktorer är av mindre betydelse då informationen som önskas är ifall ämnet är ordentligt sanerat eller inte. Dock är det viktigt att säkerställa att ämnet som ska detekteras går att jonisera med aktuell fotoenergi, se bilaga B. I vissa fall kan även pH-mätning utföras med indikatorpapper eller med elektronisk pH-meter för att avgöra om saneringen är tillräcklig. Mätningen kan med fördel ske i tvättvattnet.

Efter totalsanering eller då gasutsläppet upphört bör man undvika att i onödan hålla ett område avspärrat eller nyttja alltför hög skyddsnivå för personalen. För detta krävs indikering. Man kan tänka sig att använda ett halvledarinstrument, fotojonisationsinstrument, elektrokemisk detektion eller analysam-puller då man i samband med en olycka ska

konstatera när risken från de giftiga gaserna har upphört. Man bör dock tänka på att det kan krävas flera mätningar för att uppnå tillfredställande säkerhet i mätningarna.

7.12.4 Personligt skydd

Med personligt skydd menas här mätningar som sker för att varna personalen om en risk eller fara håller på att uppstå. Vid sådana mätningar är det en klar fördel att veta vilket ämne och vilka risker personalen ska skyddas mot.

För personligt skydd krävs kontinuerlig mätning samt en alarmfunktion som varnar innan fara uppstår. PID är ett allsidigt val, men även elektrokemiska detektorer kan vara lämpliga om det finns mätceller för den



Bild 7.27: Dräger Pac 7000 ingår i den statliga kemberedskapen (Bild: Dräger)

aktuella gasen. Ett instrument med elektrokemisk detektion som ingår i den statliga kemberedskapen visas på bild 7.27. Vid explosionsfara kan en explosimeter med diffusion mäta kontinuerligt. Sådana har oftast en larmfunktion, där cirka 10 eller 20 % av LEL kan vara en lämplig larmnivå.

När halten uppnår det värdet ska detta inte uppfattas som en varning att omedelbar explosionsrisk föreligger på mätplatsen utan som en indikering att det föreligger ett utsläpp av en brännbar gas. Vid detta alarm ska man därför snarast påbörja mer detaljerad mätning.

7.12.5 Mätning inne i gasmolnet

Informationen från mätningar av gaskoncentrationen inne i gasmolnet kan användas till två syften.

1. För att tidigt upptäcka en förändring i källstyrka. Till exempel vid avgasning från en pöl eller vid ett mindre tankbrott.
2. För att verifiera uppskattningar baserade på spridningsberäkningar. I en stab kan beräkningar utföras baserade på källstyrka, meteorologiska förhållanden och geografiska faktorer. Osäkerheten i indata är dock ofta stor varför mätningar i gasmolnet kan ge information om hur indata ska korrigeras för att bättre spegla verkligheten.

Vid mätning inne i gasmolnet krävs minst två detektorer med kontinuerlig mätning. Som visats tidigare varierar koncentrationen i en mätpunkt ganska mycket varför två mätpunkter ger ett bättre underlag.

Lämplig utrustning för att genomföra dessa mätningar är ett fotojonisationsinstrument med alarm. Även elektrokemisk detektion fungerar om det finns sensorer för det aktuella ämnet. Halvledarinstrument är förmodligen inte lämpliga då de är relativt okänsliga och det kan vara svårt att uppfatta en förändring i gaskoncentrationen.

Utrustningen som används för mätningarna kan möjligen förses med radiolänk för att underlätta avläsning och rapportering.

7.12.6 Att mäta en taktisk linje (skyddsperimeter)

Om en olycka med giftig gas sker nära allmänheten kan till exempel evakuering bli aktuell. Att ta ett sådant beslut kan ofta vara mycket svårt då det kan vara vanskligt att dra gränsen för när evakuering ska ske. Ett lämpligt sätt att handskas med situationen är att sätta upp en vad vi här kallar för *skyddsperimeter*. Med detta menar vi en taktisk linje i terrängen kopplad till en viss åtgärd som ska vidtas om en viss gaskoncentration uppstår. Ett exempel är att tidigt i insatsen besluta att evakuering av bostadsområdet Svalan ska ske om ammoniakkoncentrationen vid Fågelvägen överstiger 25 ppm_v.

Vid valet av en sådan perimeter bör faktorer som vindriktning, allmänheten och geografiska

förutsättningar ingå som parametrar. Det är till exempel viktigt att tänka igenom hur rapportering ska ske. Om GPS inte ska användas är det en fördel om skyddssperimetern sammanfaller med vägar eller naturliga hinder för att underlätta rapportering och dokumentation.

För att utföra mätningar vid en sådan skyddssperimeter finns två alternativ (vilka också kan kombineras):

1. Minst två kontinuerliga instrument med automatisk rapportering via radiolänk.
2. En kedja av personal med instrument och manuell rapportering över radio. Det första alternativet kräver dyrare utrustning medan det andra alternativet kräver tillgång på personal. Lämplig utrustning i det första fallet är fotojonisationsinstrument eller kombinationsinstrument med elektrochemisk detektion. Även i det andra fallet kan dessa typer av instrument användas men här fungerar också analysampuller tillfredsställande.

Ett system som kan användas är AreaRAE från RAE Systems som tillåter att via radio koppla ihop flertalet portabla detektorer och plotta

resultatet kontinuerligt på en datorskärm, se bild 7.28. Positionering kan eventuellt ske automatiskt från GPS för att presentera informationen direkt på en elektronisk karta.

7.12.7 Förorenade jordmassor

För att avgöra om ett flyktigt miljöfarligt ämne trängt ner i jorden kan en fältmässig variant av laboratoriernas headspace-teknik användas. Headspace innebär att mätningen av ett ämne sker i gasfas ovanför provet.

Detta kan vara lämpligt till exempel vid kall väderlek då det kan vara svårt att efter ett utsläpp avgöra om exempelvis diesel, xylen eller andra miljöskadliga ämnen trängt ned i jordmassorna eller inte.

Metoden fungerar i princip enligt:

1. Gräv upp ett jordprov.
2. Placera det i en gastät behållare, till exempel en kraftig plastpåse.
3. Värm behållaren till rumstemperatur eller strax däröver (minst 15 minuter). Se till att ingen tryckupbyggnad kan ske i behållaren.



Bild 7.28 Utrustning för automatisk detektering, rapportering och dokumentering (AreaRAE från RAE Systems) (Bilder: RAE Systems)

4. Använd ett känsligt mätinstrument, till exempel med fotojonisation och mät i gasfasen i behållaren. Detekteras koncentrationer över 100 ppm_v (beror naturligtvis på vilket ämne som är aktuellt) bör åtgärder vidtas.

7.12.8 Gasfrihetsförklaring

Förutom olyckor med farligt gods kan räddningstjänsten ha nytta av instrument för gasindikering även vid andra tillfällen. Ett sådant område är gasfrihetsförklaring vid tillfälliga heta arbetstillstånd enligt 24 § i förordningen om brandfarliga och explosiva varor (FBE).

Här används ibland uttrycken *gasfri atmosfär* vilket innebär en lägre koncentration än 5 vol% av LEL samt *inte explosiv atmosfär* eller *inte antändbar atmosfär* vilket motsvarar 25 vol% av LEL.

Att tänka på vid sådana mätningar är att syrekoncentrationen inne i en cistern kan vara för låg för att mätning med katalytisk förbränning ska vara möjlig. Det kan därför vara nödvändigt att mäta syrgashalten och jämföra med bruksanvisningen om utrustningen klarar av att mäta i aktuell atmosfär. Vid mätning inomhus bör man fundera igenom om gasen är tyngre eller lättare än luft. Om gasen är tyngre mäts i nedre delen av rummet och om gasen är lättare mäts man i övre delen. Området gasfrihetsförklaring och heta arbeten behandlas inte vidare här.

7.12.9 Allmänt

Utomhus kan gaskoncentrationen uppvisa stora variationer på samma plats under kort tid (en minut). Variationernas storlek beror på gasens egenskaper, gaskoncentrationen, vind- och väderförhållanden. Under en och samma minut kan variationerna uppgå till ± 500 %. Därför får man aldrig nöja sig med en alltför kort mättid, vare sig det gäller explosimetrar eller koncentrationsmätningar av specifika gaser.

Frågan är nu hur man ska tolka de värden som man läser av? Är koncentrationen över 100

procent av LEL eller överstiger de halter där det föreligger risk för personskador är det ingen tvekan om tolkningen. Är koncentrationen bara 10 % av LEL eller omkring hygieniska gränsvärdet är det heller ingen tvekan om att området kan anses relativt ofarligt. Men var går gränsen? Är 50 % av LEL farligt?

Det går inte att fastställa ett entydigt värde. Det som är viktigare är tendensen till koncentrationsändringar. Som exempel kan nämnas att 20 % och ökande koncentration ska anses farligare än 30 % och sjunkande.

Som tidigare nämnts krävs ibland korrektionsfaktorer vid mätning av andra gaser än de som instrumenten kalibrerats för. Det är viktigt att man inventerar de ämnen som kan vara aktuella att mäta och beräknar missvisningen (korrektionsfaktorn) för varje ämne. Det kommer då att visa sig att de flesta ämnen inryms mellan korrektionsfaktorerna 0,3 och 2,0 (se bilaga A).

Man kan i förväg fatta beslut om vilken missvisning som ska accepteras, dvs när man inte behöver använda korrektionsfaktorer. De ämnen som faller utanför området bör man märka upp på instrumentet med korrektionsfaktorn angiven.

7.13 Att köpa instrument

Vilka instrument kommunen ska köpa in beror naturligtvis på vilka behov kommunen har att kunna utföra de olika taktiska uppgifterna som presenterats ovan. Ekonomiska aspekter påverkar naturligtvis också i hög grad vilka instrument som kan köpas in. Ibland kan pengar från företag m m vara till hjälp för finansiering av till exempel ett miljöskyddssläp eller en regional samverkansresurs. Det torde vara ett rimligt krav att kommunen dokumenterar sin analys över vilka behov som ska styra inköpen.

Det kan även vara av intresse att inventera vilka kontakter som bör knytas med andra aktörer. Vissa behov kan till exempel tillfredsställas av kommunens miljöinspektörer och kontakter med analyslaboratorier. Sådana

kontakter bör dokumenteras i någon form av resurskalender så att kontakt kan knytas snabbt och enkelt vid behov.

Det kan vara bra att utgå från behovet av instrument med breda användningsområden. Det kan handla om fotojonisationsinstrument, elektrokemisk detektion med utbytbara sensorer eller analysampuller som kan fås för ett stort antal gaser. Till detta kan portföljen utökas med instrument för speciella ändamål: explosimetrar, elektrokemiska detektorer för speciella gaser etc.

Vissa mätningar kanhända man blir tvungen att utföra i skyddsutrustning t ex kemskyddsdräkt med tryckluftapparat. Då är det viktigt att man redan vid instrumentinköpen har tänkt på att de ska kunna hanteras av en otympligt klädd person. Man ska ställa särskilda krav som t ex att reglage, vred och handtag är åtkomliga

även med handskar. Visare och skala ska vara lätta att läsa av även under svåra förhållanden. Man ska inte heller behöva göra alltför många känsliga kontroller och justeringar innan man påbörjar mätningen.

Som med många andra instrument, krävs regelbundet underhåll för att hålla gasmätningens utrustningen vid optimal funktion. Kostnader för kalibrering, reservdelar och service utgör ofta majoriteten av de totala kostnaderna under instrumentets livslängd - ofta ungefär det dubbla mot den initiala anskaffningskostnaden. Viktiga aspekter vid inköp är därför kalibreringsintervall, sensorers livslängd och förväntade servicekostnader.

Det rekommenderas att europastandarden EN 50073:1999 (CENELEC, 1999) beaktas vid val av ny utrustning.

Referenser

APTI (2004), OL:2000, North Carolina State University, Air Pollution Training Institute, Basic Contents in Environmental Sciences – Module 3: Particle Characteristics of Particles – Collection Mechanisms,
Hemsida: http://www.epin.ncsu.edu/apti/ol_2000/module3/collect/collfram.htm,
Inhämtad: 2004-02-20.

Cooper, C. D. & Alley F.C. (2002), Air Pollution Control: A Design Approach, 3rd edition, Chicago: Waveland Press. Crowcon Detection Instruments Ltd (2004),
Hemsida, http://www.crowcon.com/talking-gas/talking_gas_pellistor_systems.htm,
Inhämtad: 2004-02-05.

Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998), Våda utsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, Tredje reviderade upplagan, FOA-R—97-00490-990—SE, Avdelningen för NBC-skydd, Umeå: Försvarets Forskningsanstalt.

Hermelin J. & Magnusson B. (1981), Överpumpning – en handbok i pumpning och uppsamling av kemikalier, Stockholm: Svenska Brandskyddsföreningen.

Hermelin J. (1987), Tätning och invallning, Tredje upplagan, Stockholm: Svenska Brandskyddsföreningen.

Hermelin J. (1988), Gasindikering, Andra utgåvan, Stockholm: Svenska Brandskyddsföreningen.

Källström H. & Mourujärvi H. (1999), Teknik vid kemikalieolycka, Karlstad: Räddningsverket.

RAE Systems (2001a), AP-203 Application Note, PIDs as a HazMat Response Tool, rev9.cw.7/01, Hemsida, <http://www.raesystems.com>,
Inhämtad: 2004-02-05.

RAE Systems (2001b), TN-102 Technical Note, Facts about PID Measurements, Hemsida, <http://www.raesystems.com>,
Inhämtad: 2004-02-05.

RAE Systems (2003), TN-106 Technical Note, Correction factors, Ionization energies and calibration characteristics, Hemsida, <http://www.raesystems.com>,
Inhämtad: 2004-02-05.

CENELEC (1999), EN 50073:1999, Utrustning för detektering och mätning av brännbara gaser eller syrgas – Vägledning vid val, installation, användning och underhåll, Svensk Standard SS-EN 50073, SEK - Svenska Elektriska Kommissionen, Stockholm: SIS Förlag.

Scott Instruments (2004), Sensor Technology, Hemsida, <http://www.scottinstruments.com/products/sensor.cfm>,
Inhämtad: 2004-02-12.

Bilaga A – Korrektionsfaktorer för explosimetrar (pellistorer)

I denna bilaga presenteras en del generella korrektionsfaktorer för explosimetrar. I första hand ska faktorer från tillverkaren av instrumentet användas men denna bilaga ger en viss vägledning hur olika ämnen påverkar utslaget. Multiplicera den metan eller pentan kalibrerade explosimeterns avlästa värde med den korrektionsfaktor som gäller enligt tabellen nedan. Informationen är hämtad från Crowcon Detection Instruments Ltd (2004).

Ämne	P	M
1,3-Butadien	0.8	1.3
1-Buten	1.0	2.0
2,2-Dimetylpropan	1.1	2.2
2,3-Dimetylpentan	1.1	2.2
Acetaldehyd	0.8	1.6
Aceton	0.9	1.6
Acetylen	0.8	1.7
Akrylnitril	1.0	2.0
Alkyl Alkohol	0.9	1.9
Ammoniak	0.35	0.6
Anilin	1.2	2.5
Bensen	1.1	1.9
Bensin	1.0	1.9
Butylacetat	1.5	3.0
Cyklohexan	0.9	2.0
Cyklopropan	0.8	1.6
Dietylamin	0.9	1.8
Dimetylamin	0.8	1.6
Dimetyleter	0.7	1.4
Dimetylsulfid	1.1	2.2
Dioxan	1.0	2.0
Etan	0.7	1.4
Etanol	0.6	1.85
Eten	0.7	1.2
Etylacetat	0.9	1.8
Etylbensen	1.3	2.6
Etylbromid	0.5	1.0
Etylcyklopentan	1.1	2.2
Etylendiklorid	0.7	1.4
Etylenoxid	0.9	1.8
Etyleter	1.0	2.1
Etylklorid	0.8	1.6
Fotogen	1.4	2.8
Gasol (LPG)	1.1	2.1
iso-Butan	0.9	1.8
iso-Butanol	0.9	1.9
iso-Butylbensen	1.4	3.0
iso-Pentan	1.0	1.9
iso-Propanol	0.9	1.8

Ämne	P	M
iso-Propyleter	1.0	2.0
Koldisulfid	4.0	8.0
Kolmonoxid	0.6	1.2
Koloxisulfid	0.5	1.0
Lacknafta	1.5	3.0
Metan (LNG)	0.5	1.0
Metanol	0.5	1.2
Metylcyklohexan	1.0	2.0
Metylendiklorid	0.5	1.0
Metyleter	1.0	2.0
Metyletylketon (MEK)	1.1	2.2
Metylklorid	4.0	8.0
Metylpropylketon	1.6	3.2
m-Xylen	1.1	2.2
Naftalen	1.3	2.8
n-Amylalkohol	1.4	2.8
n-Butan	0.8	1.6
n-Butanol	1.4	2.9
n-Butylbensen	1.4	3.0
N-Dekan	1.4	2.8
n-Heptan	1.3	2.3
n-Hexan	1.3	2.0
n-Nonan	1.4	2.8
n-Oktan	1.3	2.6
n-Pentan	1.0	1.9
n-Propanol	1.0	2.0
o-Xylen	1.2	2.8
Propan	0.65	1.3
Propen	0.9	1.8
Propylenoxid	1.0	2.0
Propyn	1.1	2.2
p-Xylen	1.1	2.2
Styren (monomer)	4.0	8.0
tert-Butanol	0.6	1.3
Tetrahydrofuran	1.0	2.1
Toluen	1.1	1.9
Trimetylbensen	1.5	3.0
Vätgas	0.6	1.2
Ättiksyra	0.8	1.6
Ättiksyraanhydrid	1.0	2.0

Bilaga B – Jonisationspotentialer och korrektionsfaktorer

I denna bilaga presenteras en del jonisationspotentialer och korrektionsfaktorer för olika ämnen. Det avlästa värdet ska multipliceras med den faktor som anges för aktuell energinivå på lampan. Informationen är hämtad från RAE Systems (2003).

CF = *Korrektionsfaktor* (ska multipliceras med det avlästa värdet på en fotojonisationsapparat kalibrerad med isobuten).

NR = *No Response*, Ämnet kan inte mätas med fotojonisation.

IE = *Ionization Energy*, jonisationsenergi (värden inom parentes är något osäkra).

C = *Confirmed Value*, värdet är fastställt. Andra värden är preliminära och kan ändras.

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Chlorobenzene	Monochlorobenzene	108-90-7	C ₆ H ₅ Cl	0.44	+	0.40	+	0.39	+	9.06
Chloro-1,1-difluoroethane, I- (R-142B)		75-68-3	C ₂ H ₃ ClF ₂			NR		NR		12.0
Chlorodifluoromethane	HCFC-22, R-22	75-45-6	CHClF ₂	NR		NR		NR		12.2
Chloroethane	Ethyl chloride	75-00-3	C ₂ H ₅ Cl	NR	+	NR	+	1.1	+	10.97
Chloroethanol	Ethylene chlorhydrin	107-07-3	C ₂ H ₅ ClO							10.52
Chloroethyl ether, 2-	bis(2-chloroethyl) ether	111-44-4	C ₄ H ₈ Cl ₂ O	8.6	+	3.0	+			
Chloroethyl methyl ether, 2-	Methyl 2-chloroethyl ether	627-42-9	C ₃ H ₇ ClO			3				
Chloroform	Trichloromethane	67-66-3	CHCl ₃	NR	+	NR	+	3.5	+	11.37
Chloropicrin		76-06-2	CCl ₃ NO ₂	NR	+	~400	+	7	+	?
Chlorotoluene, o-	o-Chloromethylbenzene	95-49-8	C ₇ H ₇ Cl			0.5		0.6		8.83
Chlorotoluene, p-	p-Chloromethylbenzene	106-43-4	C ₇ H ₇ Cl					0.6		8.69
Chlorotrimethylsilane		75-77-4	C ₃ H ₉ ClSi	NR		NR		0.82	+	10.83
Crotonaldehyde	trans-2-Butenal	123-73-9	C ₄ H ₆ O	1.5	+	1.1	+	1.0	+	9.73
		4170-30-3								
Cumene	Isopropylbenzene	98-82-8	C ₉ H ₁₂	0.58	+	0.54	+	0.4	+	8.73
Cyanogen bromide		506-68-3	CNBr	NR		NR		NR		11.84
Cyanogen chloride		506-77-4	CNCl	NR		NR		NR		12.34
Cyclohexane		110-82-7	C ₆ H ₁₂	3.3	+	1.4	+	0.64	+	9.86
Cyclohexanol	Cyclohexyl alcohol	108-93-0	C ₆ H ₁₂ O					1.1		9.75
Cyclohexanone		108-94-1	C ₆ H ₁₀ O	1.0	+	0.9	+	0.7	+	9.14
Cyclohexene		110-83-8	C ₆ H ₁₀			0.8	+			8.95
Cyclohexylamine		108-91-8	C ₆ H ₁₃ N			1.2				8.62
Cyclopentane 85% 2,2-dimethylbutane 15%		287-92-3	C ₅ H ₁₀	NR	+	15	+	1.1		10.33
Decane		124-18-5	C ₁₀ H ₂₂	4.0	+	1.4	+	0.35	+	9.65
Diacetone alcohol	4-Methyl-4-hydroxy-2-pentanone	123-42-2	C ₆ H ₁₂ O ₂			0.7				
Dibromochloromethane	Chlorodibromomethane	124-48-1	CHBr ₂ Cl	NR	+	5.3	+	0.7	+	10.59
Dibromoethane, 1,2-	EDB, Ethylene dibromide, Ethylene bromide	106-93-4	C ₂ H ₄ Br ₂	NR	+	1.7	+	0.6	+	10.37
Dichlorobenzene, o-	1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	C ₆ H ₄ Cl ₂	0.54	+	0.47	+	0.38	+	9.08
Dichlorodifluoromethane	CFC-12	75-71-8	CCl ₂ F ₂			NR	+	NR	+	11.75

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Dichlorodimethylsilane		75-78-5	C ₂ H ₆ Cl ₂ Si	NR		NR		1.1	+	>10.7
Dichloroethane, 1,2-	EDC, 1,2-DCA, Ethylene dichloride	107-06-2	C ₂ H ₄ Cl ₂			NR	+	0.6	+	11.04
Dichloroethene, 1,1-	1,1-DCE, Vinylidene chloride	75-35-4	C ₂ H ₂ Cl ₂			0.82	+	0.8	+	9.79
Dichloroethene, c-1,2-	c-1,2-DCE, cis-Dichloroethylene	156-59-2	C ₂ H ₂ Cl ₂			0.8				9.66
Dichloroethene, t-1,2-	t-1,2-DCE, trans-Dichloroethylene	156-60-5	C ₂ H ₂ Cl ₂			0.45	+	0.34	+	9.65
Dichloro-1-fluoroethane, 1,1-	R-141B	1717-00-6	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	NR	+	NR	+	2.0	+	
Dichloromethane	see Methylene chloride									
Dichloropentafluoropropane	AK-225, mix of ~45% 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane (HCFC-225ca) & ~55% 1,3-Dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HCFC-225cb)	442-56-0 507-55-1	C ₃ HCl ₂ F ₅	NR	+	NR	+	25	+	
Dichloropropane, 1,2-		78-87-5	C ₃ H ₆ Cl ₂					0.7		10.87
Dichloro-1-propene, 1,3-		542-75-6	C ₃ H ₄ Cl ₂	1.3	+	0.96	+			<10
Dichloro-1-propene, 2,3-		78-88-6	C ₃ H ₄ Cl ₂	1.9	+	1.3	+	0.7	+	<10
Dichloro-1,1,1-trifluoroethane, 2,2-	R-123	306-83-2	C ₂ HCl ₂ F ₃	NR	+	NR	+	10.1	+	11.5
Dichlorvos	Vapona; O,O-dimethyl O-dichlorovinyl phosphate	62-73-7	C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P			0.9	+			<9.4
Dicyclopentadiene	DCPD, Cyclopentadiene dimer	77-73-6	C ₁₀ H ₁₂	0.57	+	0.48	+	0.43	+	8.8
Diesel Fuel		68334-30-5	m.w. 226			0.9	+			
Diesel Fuel #2 (Automotive)		68334-30-5	m.w. 216			0.7	+	0.4	+	
Diethylamine		109-89-7	C ₄ H ₁₁ N			1	+			8.01
Diethylaminopropylamine, 3-		104-78-9	C ₇ H ₁₈ N ₂			1.3				
Diethylbenzene	See Dowtherm J									
Diethylmaleate		141-05-9	C ₈ H ₁₂ O ₄			4				
Diethyl sulfide	see Ethyl sulfide									
Diisopropylamine		108-18-9	C ₆ H ₁₅ N	0.84	+	0.74	+	0.5	+	7.73
Diketene	Ketene dimer	674-82-8	C ₄ H ₄ O ₂	2.6	+	2.0	+	1.4	+	9.6
Dimethylacetamide, N,N-	DMA	127-19-5	C ₄ H ₉ NO	0.87	+	0.8	+	0.8	+	8.81
Dimethylamine		124-40-3	C ₂ H ₇ N			1.5				8.23
Dimethyl carbonate	Carbonic acid dimethyl ester	616-38-6	C ₃ H ₆ O ₃	NR	+	~70	+	1.7	+	~10.5
Dimethyl disulfide	DMDS	624-92-0	C ₂ H ₆ S ₂	0.2	+	0.20	+	0.21	+	7.4
Dimethyl ether	see Methyl ether									
Dimethylethylamine	DMEA	598-56-1	C ₄ H ₁₁ N	1.1	+	1.0	+	0.9	+	7.74

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Dimethylformamide, N,N-	DMF	68-12-2	C ₃ H ₇ NO			0.8				9.13
Dimethylhydrazine, 1,1-	UDMH	57-14-7	C ₂ H ₈ N ₂			0.8	+	0.8	+	7.28
Dimethyl methylphosphonate	DMMP, methyl phosphonic acid dimethyl ester	756-79-6	C ₃ H ₉ O ₃ P	NR	+	4.3	+	0.74	+	10.0
Dimethyl sulfate		77-78-1	C ₂ H ₆ O ₄ S	~23		~20	+	2.3	+	
Dimethyl sulfide	see Methyl sulfide									
Dimethyl sulfoxide	DMSO, Methyl sulfoxide	67-68-5	C ₂ H ₆ OS			1.4	+			9.10
Dioxane, 1,4-		123-91-1	C ₄ H ₈ O ₂			1.3				9.19
Dioxolane, 1,3-	Ethylene glycol formal	646-06-0	C ₃ H ₆ O ₂	4.0	+	2.3	+	1.6	+	9.9
Dowtherm A see Therminol®										
Dowtherm J (97% Diethylbenzene)		25340-17-4	C ₁₀ H ₁₄			0.5				
DS-108F Wipe Solvent	Ethyl lactate/Isopar H/ Propoxypropanol ~7:2:1	97-64-3 64742-48-9 1569-01-3	m.w. 118	3.3	+	1.6	+	0.7	+	
Epichlorohydrin	ECH Chloromethyloxirane, 1-chloro2,3-epoxypropane	106-89-8	C ₂ H ₅ ClO	~200	+	8.5	+	1.4	+	10.2
Ethane		74-84-0	C ₂ H ₆			NR	+	15	+	11.52
Ethanol	Ethyl alcohol	64-17-5	C ₂ H ₆ O			10	+	3.1	+	10.47
Ethanolamine	MEA, Monoethanolamine	141-43-5	C ₂ H ₇ NO	5.6	+	1.6	+			8.96
Ethene	Ethylene	74-85-1	C ₂ H ₄			9	+	4.5	+	10.51
Ethoxyethanol, 2-	Ethyl cellosolve, Ethylene glycol monoethyl ether	110-80-5	C ₄ H ₁₀ O ₂			1.3				9.6
Ethyl acetate		141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂			4.6	+			10.01
Ethyl acrylate		140-88-5	C ₅ H ₈ O ₂			2.4	+	1.0	+	<10.3
Ethylamine		75-04-7	C ₂ H ₇ N			0.8				8.86
Ethylbenzene		100-41-4	C ₈ H ₁₀	0.52	+	0.52	+	0.51	+	8.77
Ethylene glycol	1,2-Ethanediol	107-21-1	C ₂ H ₆ O ₂			16	+	6	+	10.16
Ethylene glycol dimethyl ether	1,2-Dimethoxyethane, Monoglyme	110-71-4	C ₄ H ₁₀ O ₂	1.1		0.86		0.7		9.2
Ethylene oxide	Oxirane, Epoxyethane	75-21-8	C ₂ H ₄ O			13	+	3.5	+	10.57
Ethyl ether	Diethyl ether	60-29-7	C ₄ H ₁₀ O			1.1	+			9.51
Ethyl 3-ethoxypropionate	EEP	763-69-9	C ₇ H ₁₄ O ₃	1.2	+	0.75	+			
Ethyl formate		109-94-4	C ₃ H ₆ O ₂					1.9		10.61
Ethyl hexyl acrylate, 2-	Acrylic acid 2-ethylhexyl ester	103-11-7	C ₁₁ H ₂₀ O ₂			1.1	+	0.5	+	
Ethyl (S)-(-)-lactate see also DS-108F	Ethyl lactate, Ethyl (S)-(-)-hydroxypropionate	687-47-8 97-64-3	C ₅ H ₁₀ O ₃	13	+	3.2	+	1.6	+	~10
Ethyl mercaptan	Ethanethiol	75-08-1	C ₂ H ₆ S	0.60	+	0.56	+			9.29
Ethyl sulfide	Diethyl sulfide	352-93-2	C ₄ H ₁₀ S			0.5	+			8.43
Formaldehyde	Formalin	50-00-0	CH ₂ O	NR	+	NR	+	1.6	+	10.87
Formamide		75-12-7	CH ₃ NO			6.9	+	4		10.16
Formic acid		64-18-6	CH ₂ O ₂	NR	+	NR	+	9	+	11.33

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C		C	IE (eV)
Furfural	2-Furaldehyde	98-01-1	C ₅ H ₄ O ₂			0.92	+	0.8	+	9.21
Furfuryl alcohol		98-00-0	C ₅ H ₆ O ₂			0.80	+			<9.5
Gasoline #1		8006-61-9	m.w. 72			0.9	+			
Gasoline #2, 92 octane		8006-61-9	m.w. 93	1.3	+	1.0	+	0.5	+	
Glutaraldehyde	1,5-Pentanedial, Glutaric dialdehyde	111-30-8	C ₅ H ₈ O ₂	1.1	+	0.8	+	0.6	+	
Halothane	2-Bromo-2-chloro-1,1,1-trifluoroethane	151-67-7	C ₂ HBrClF ₃					0.6		11.0
HCFC-22 see Chlorodifluoromethane										
HCFC-123 see 2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane										
HCFC-141B see 1,1-Dichloro-1-fluoroethane										
HCFC-142B see 1-Chloro-1,1-difluoroethane										
HCFC-134A see 1,1,1,2-Tetrafluoroethane										
HCFC-225 see Dichloropentafluoropropane										
Heptane, n-		142-82-5	C ₇ H ₁₆	45	+	2.8	+	0.60	+	9.92
Hexamethyldisilazane, 1,1,1,3,3,3-	HMDS	999-97-3	C ₆ H ₁₉ NSi ₂			0.2	+	0.2	+	~8.6
Hexane, n-		110-54-3	C ₆ H ₁₄	350	+	4.3	+	0.54	+	10.13
Hexanol, 1-	Hexyl alcohol	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	9	+	2.5	+	0.55	+	9.89
Hexene, 1-		592-41-6	C ₆ H ₁₂			0.8				9.44
Hydrazine		302-01-2	H ₄ N ₂	>8	+	2.6	+	2.1	+	8.1
Hydrazoic acid	Hydrogen azide		HN ₃							10.7
Hydrogen	Synthesis gas	1333-74-0	H ₂	NR	+	NR	+	NR	+	15.43
Hydrogen cyanide	Hydrocyanic acid	74-90-8	HCN	NR	+	NR	+	NR	+	13.6
Hydrogen peroxide		7722-84-1	H ₂ O ₂	NR	+	NR	+	NR	+	10.54
Hydrogen sulfide		2148878	H ₂ S	NR	+	3.3	+	1.5	+	10.45
Iodine		7553-56-2	I ₂	0.1	+	0.1	+	0.1	+	9.40
Iodomethane	Methyl iodide	74-88-4	CH ₃ I	0.21	+	0.22	+	0.26	+	9.54
Isoamyl acetate	Isopentyl acetate	123-92-2	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.1		2.1		1.0		<10
Isobutane	2-Methylpropane	75-28-5	C ₄ H ₁₀			1.00	+	1.2	+	10.57
Isobutanol	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O	19	+	3.8	+	1.5		10.02
Isobutene	Isobutylene, Methyl butene	115-11-7	C ₄ H ₈	1.00	+	1.00	+	1.00	+	9.24
Isobutyl acetate		110-19-0	C ₆ H ₁₂ O ₂			2.6				
Isobutyl acrylate	Isobutyl 2-propenoate, Acrylic acid Isobutyl ester	106-63-8	C ₇ H ₁₂ O ₂			1.5	+	0.60	+	
Isoflurane	1-Chloro-2,2,2-trifluoroethyl difluoromethyl ether, forane	26675-46-7	C ₃ H ₂ ClF ₅ O							~11.7
Isooctane	2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	C ₈ H ₁₈			1.2				9.86
Isopar E Solvent	Isoparaffinic hydrocarbons	64741-66-8	m.w. 121	1.7	+	0.8	+			
Isopar G Solvent	Photocopier diluent	64742-48-9	m.w. 148			0.8	+			
Isopar K Solvent	Isoparaffinic hydrocarbons	64742-48-9	m.w. 156	0.9	+	0.5	+	0.27	+	

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Isopar L Solvent	Isoparaffinic hydrocarbons	64742-48-9	m.w. 163	0.9	+	0.5	+	0.28	+	
Isopar M Solvent	Isoparaffinic hydrocarbons	64742-47-8	m.w. 191			0.7	+	0.4	+	
Isopentane	2-Methylbutane	78-78-4	C ₅ H ₁₂			8.2				
Isophorone		78-59-1	C ₉ H ₁₄ O					3		9.07
Isoprene	2-Methyl-1,3-butadiene	78-79-5	C ₅ H ₈	0.69	+	0.63	+	0.60	+	8.85
Isopropanol	Isopropyl alcohol, 2-propanol, IPA	67-63-0	C ₃ H ₈ O	500	+	6.0	+	2.7		10.12
Isopropyl acetate		108-21-4	C ₅ H ₁₀ O ₂			2.6				9.99
Isopropyl ether	Diisopropyl ether	108-20-3	C ₆ H ₁₄ O			0.8				9.20
Jet fuel JP-4	Jet B, Turbo B, Wide cut type aviation fuel	8008-20-6 + 64741-42-0	m.w. 115			1.0	+	0.4	+	
Jet fuel JP-5	Jet 5, Kerosene type aviation fuel	8008-20-6 + 64747-77-1	m.w. 167			0.6	+	0.5	+	
Jet fuel JP-8	Jet A-1, Kerosene type aviation fuel	8008-20-6 + 64741-77-1	m.w. 165			0.6	+	0.3	+	
Jet fuel A-1 (JP-8)	Kerosene type aviation fuel	8008-20-6 + 64741-77-1	m.w. 145			0.67				
Limonene, D-	(R)-(+)-Limonene	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆			0.33	+			~8.2
Kerosene C10-C16 petro.distillate – see Jet Fuels		8008-20-6								
MDI – see 4,4'-Methylenebis(phenylisocyanate)										
Mesitylene	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	C ₉ H ₁₂	0.36	+	0.35	+	0.3	+	8.41
Methane	Natural gas	74-82-8	CH ₄	NR	+	NR	+	NR	+	12.61
Methanol	Methyl alcohol, carbinol	67-56-1	CH ₄ O	NR	+	NR	+	2.5	+	10.85
Methoxyethanol, 2-	Methyl cellosolve, Ethylene glycol monomethyl ether	109-86-4	C ₃ H ₈ O ₂	4.8	+	2.4	+	1.4	+	10.1
Methoxyethox-yethanol, 2-	2-(2-Methoxyethoxy)ethanol Diethylene glycol monomethyl ether	111-77-3	C ₇ H ₁₆ O	2.3	+	1.2	+	0.9	+	<10
Methyl acetate		79-20-9	C ₃ H ₆ O ₂	NR	+	6.6	+	1.4	+	10.27
Methyl acrylate	Methyl 2-propenoate, acrylic acid methyl ester	96-33-3	C ₄ H ₆ O ₂			3.7	+	1.2	+	(9.9)
Methylamine	Aminomethane	74-89-5	CH ₅ N			1.2				8.97
Methyl bromide	Bromomethane	74-83-9	CH ₃ Br	110	+	1.7	+	1.3	+	10.54
Methyl t-butyl ether	MTBE, tert-Butyl methyl ether	1634-04-4	C ₅ H ₁₂ O			0.9	+			9.24
Methyl cellosolve	see 2-Methoxyethanol									
Methyl chloride	Chloromethane	74-87-3	CH ₃ Cl	NR	+	NR	+	0.74	+	11.22
Methylcyclohexane		107-87-2	C ₇ H ₁₄	1.6	+	0.97	+	0.53	+	9.64
Methylene bis(phenylisocyanate), 4,4'-	MDI, Mondur M		C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	Very slow ppb level response						
Methylene chloride	Dichloromethane	75-09-2	CH ₂ Cl ₂	NR	+	NR	+	0.89	+	11.32
Methyl ether	Dimethyl ether	115-10-6	C ₂ H ₆ O	4.8	+	3.1	+	2.5	+	10.03

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Methyl ethyl ketone	MEK, 2-Butanone	78-93-3		0.86	+	0.9	+	1.1	+	9.51
Methylhydrazine	Monomethylhydrazine, Hydrazomethane	60-34-4	C ₂ H ₆ N ₂	1.4	+	1.2	+	1.3	+	7.7
Methyl isobutyl ketone	MIBK, 4-Methyl-2-pentanone	108-10-1	C ₆ H ₁₂ O	0.9	+	0.8	+	0.6	+	9.30
Methyl isocyanate	CH ₃ NCO	624-83-9	C ₂ H ₃ NO	NR	+	4.6	+	1.5		10.67
Methyl isothiocyanate	CH ₃ NCS	551-61-6	C ₂ H ₃ NS	0.5	+	0.45	+	0.4	+	9.25
Methyl mercaptan	Methanethiol	74-93-1	CH ₄ S	0.65		0.54		0.66		9.44
Methyl methacrylate		80-62-6	C ₅ H ₈ O ₂	2.7	+	1.5	+	1.2	+	9.7
Methyl nonafluorobutyl ether	HFE-7100DL	163702-08-7, 163702-07-6	C ₅ H ₃ F ₉ O			NR	+	~35	+	
Methyl-1,5-pentane-diamine, 2- (coats lamp)	Dytek-A amine, 2-Methyl pentamethylenediamine	15520-10-2	C ₆ H ₁₆ N ₂			~0.6	+			<9.0
Methyl propyl ketone	MPK, 2-Pentanone	107-87-9	C ₅ H ₁₂ O			0.93	+	0.79	+	9.38
Methyl-2-pyrrolidinone, N-	NMP, N-Methylpyrrolidone,	872-50-4	C ₅ H ₉ NO	1.0	+	0.8	+	0.9	+	9.17
	1-Methyl-2-pyrrolidinone,									
	1-Methyl-2-pyrrolidone									
Methyl salicylate	Methyl 2-hydroxybenzoate	119-36-8	C ₈ H ₈ O ₃	1.3	+	0.9	+	0.9	+	~9
Methylstyrene, a-	2-Propenylbenzene	98-83-9	C ₉ H ₁₀			0.5				8.18
Methyl sulfide	DMS, Dimethyl sulfide	75-18-3	C ₂ H ₆ S	0.49	+	0.44	+	0.46	+	8.69
Mineral spirits	Stoddard Solvent, Varsol I	8020-83-5 8052-41-3 68551-17-7	m.w. 144			0.7	+	0.39	+	
Mineral Spirits - Viscor 120B Calibration Fluid, b.p. 156-207°C		8052-41-3	m.w. 142	1.0	+	0.7	+	0.3	+	
Monoethanolamine - see Ethanolamine										
Mustard	HD, Bis(2-chloroethyl) sulfide	505-60-2 39472-40-7 68157-62-0	C ₄ H ₈ Cl ₂ S			0.6				
Naphthalene	Mothballs	91-20-3	C ₁₀ H ₈	0.45	+	0.42	+	0.40	+	8.13
Nickel carbonyl (in CO)	Nickel tetracarbonyl	13463-39-3	C ₄ NiO ₄			0.18				<8.8
Nitric oxide		10102-43-9	NO	~6		5.2	+	2.8	+	9.26
Nitrobenzene		98-95-3	C ₆ H ₅ NO ₂	2.6	+	1.9	+	1.6	+	9.81
Nitroethane		79-24-3	C ₂ H ₅ NO ₂					3		10.88
Nitrogen dioxide		10102-44-0	NO ₂	23	+	16	+	6	+	9.75
Nitrogen trifluoride		7783-54-2	NF ₃	NR		NR		NR		13.0
Nitromethane		75-52-5	CH ₃ NO ₂					4		11.02
Nitropropane, 2-		79-46-9	C ₃ H ₇ NO ₂					2.6		10.71

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Nonane		111-84-2	C ₉ H ₂₀			1.4				9.72
Octane, n-		111-65-9	C ₈ H ₁₈	13	+	1.8	+			9.82
Pentane		109-66-0	C ₅ H ₁₂	80	+	8.4	+	0.7	+	10.35
Peracetic acid	Peroxyacetic acid, Acetyl hydroperoxide	79-21-0	C ₂ H ₄ O ₃	NR	+	NR	+	2.3	+	
Peracetic/Acetic acid mix	Peroxyacetic acid, Acetyl hydroperoxide	79-21-0	C ₂ H ₄ O ₃			50	+	2.5	+	
Perchloroethene	PCE, Perchloroethylene, Tetrachloroethylene	127-18-4	C ₂ Cl ₄	0.69	+	0.57	+	0.31	+	9.32
PGME	Propylene glycol methyl ether, 1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	C ₆ H ₁₂ O ₃	2.4	+	1.5	+	1.1	+	
PGMEA	Propylene glycol methyl ether acetate, 1-Methoxy-2-acetoxyp propane, 1-Methoxy-2-propanol acetate	108-65-6	C ₆ H ₁₂ O ₃	1.65	+	1.0	+	0.8	+	
Phenol	Hydroxybenzene	108-95-2	C ₆ H ₆ O	1.0	+	1.0	+	0.9	+	8.51
Phosgene	Dichlorocarbonyl	75-44-5	CCl ₂ O	NR	+	NR	+	8.5	+	11.2
Phosgene in Nitrogen	Dichlorocarbonyl	75-44-5	CCl ₂ O	NR	+	NR	+	6.8	+	11.2
Phosphine		7803-51-2	PH ₃	28		3.9	+	1.1	+	9.87
Photocopier Toner	Isoparaffin mix					0.5	+	0.3	+	
Picoline, 3-	3-Methylpyridine	108-99-6	C ₆ H ₇ N			0.9				9.04
Pinene, a-		2437-95-8	C ₁₀ H ₁₆			0.31	+	0.47		8.07
Pinene, b-		18172-67-3	C ₁₀ H ₁₆	0.38	+	0.37	+	0.37	+	~8
Piperylene, isomer mix	1,3-Pentadiene	504-60-9	C ₅ H ₈	0.76	+	0.69	+	0.64	+	8.6
Propane		74-98-6	C ₃ H ₈			NR	+	1.8	+	10.95
Propanol, n-	Propyl alcohol	71-23-8	C ₃ H ₈ O			5		1.7		10.22
Propene	Propylene	115-07-1	C ₃ H ₆	1.5	+	1.4	+	1.6	+	9.73
Propionaldehyde	Propanal	123-38-6	C ₃ H ₆ O			1.9				9.95
Propyl acetate, n-		109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂			3.5				10.04
Propylamine, n-	1-Propylamine, 1-Aminopropane	107-10-8	C ₃ H ₉ N	1.1	+	1.1	+	0.9	+	8.78
Propylene carbonate		108-32-7	C ₄ H ₆ O ₃			62	+	1	+	10.5
Propylene glycol	1,2-Propanediol	57-55-6	C ₃ H ₈ O ₂	18		5.5	+	1.6	+	<10.2
Propylene oxide	Methyloxirane	75-56-9 16088-62-3 15448-47-2	C ₃ H ₆ O	~240		6.6	+	2.9	+	10.22
Propyleneimine	2-Methylaziridine	75-55-8	C ₃ H ₇ N	1.5	+	1.3	+	1.0	+	9.0
Propyl mercaptan, 2-	2-Propanethiol, Isopropyl mercaptan	75-33-2	C ₃ H ₈ S	0.64	+	0.66	+			9.15
Pyridine		110-86-1	C ₅ H ₅ N	0.78	+	0.7	+	0.7	+	9.25
Pyrrolidine (coats lamp)	Azacyclohexane	123-75-1	C ₄ H ₉ N	2.1	+	1.3	+	1.6	+	~8.0
RR7300 (PGME/PGMEA)	70:30 PGME:PGMEA (1-Methoxy-2-propanol:1-Methoxy-2-acetoxyp propane)	107-98-2	C ₄ H ₁₀ O ₂ / C ₆ H ₁₂ O ₃			1.4	+	1.0	+	
Sarin	GB, Isopropyl methylphospho-nofluoridate	107-44-8 50642-23-4	C ₄ H ₁₀ FO ₂ P			~3				

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Stoddard Solvent - see Mineral Spirits		8020-83-5								
Styrene		100-42-5	C₈H₈	0.45	+	0.40	+	0.4	+	8.43
Sulfur dioxide		7446-09-5	SO₂			NR	+	NR	+	12.32
Sulfur hexafluoride		2551-62-4	SF₆	NR		NR		NR		15.3
Sulfuryl fluoride	Vikane	2699-79-8	SO₂F₂	NR		NR		NR		13.0
Tabun	Ethyl N, N-dimethylp-hosphoramidocyanidate	77-81-6	C₅H₁₁N₂O₂P			0.8				
Tetrachloroethane, 1,1,1,2-		630-20-6	C₂H₂Cl₄					1.3		~11.1
Tetrachloroethane, 1,1,2,2-		79-34-5	C₂H₂Cl₄	NR	+	NR	+	0.60	+	~11.1
Tetrachlorosilane		10023-04-7	SiCl₄	NR		NR		15	+	11.79
Tetraethyllead	TEL	78-00-2	C₈H₂₀Pb	0.4		0.3		0.2		~11.1
Tetraethyl orthosilicate	Ethyl silicate, TEOS	78-10-4	C₈H₂₀O₄Si			0.7	+	0.2	+	~9.8
Tetrafluoroethane, 1,1,1,2-	HFC-134A	811-97-2	C₂H₂F₄			NR		NR		
Tetrafluoroethene	TFE, Tetrafluoroethylene, Perfluoroethylene	116-14-3	C₂F₄			~15				10.12
Tetrafluoromethane	CFC-14, Carbon tetrafluoride	75-73-0	CF₄			NR	+	NR	+	>15.3
Tetrahydrofuran	THF	109-99-9	C₄H₈O	1.9	+	1.7	+	1.0	+	9.41
Tetramethyl orthosilicate	Methyl silicate, TMOS	681-84-5	C₄H₁₂O₄Si	10	+	1.9	+			~10
Therminol VP-1®	Dowtherm, 3:1 Diphenyl oxide:	101-84-8	C₁₂H₁₀O			0.4	+			
	Biphenyl	92-52-4	C₁₂H₁₀							
Toluene	Methylbenzene	108-88-3	C₇H₈	0.54	+	0.50	+	0.51	+	8.82
Tolyene-2,4-diisocyanate	TDI, 4-Methyl-1,3-phenylene-2,4-diisocyanate	584-84-9	C₉H₆N₂O₂	1.4	+	1.4	+	2.0	+	
Trichlorobenzene, 1,2,4-	1,2,4-TCB	120-82-1	C₆H₃Cl₃	0.7	+	0.46	+			9.04
Trichloroethane, 1,1,1-	1,1,1-TCA, Methyl chloroform	71-55-6	C₂H₃Cl₃			NR	+	1	+	11
Trichloroethane, 1,1,2-	1,1,2-TCA	79-00-5	C₂H₃Cl₃	NR	+	NR	+	0.9	+	11.0
Trichloroethene	TCE, Trichloroethylene	79-01-6	C₂HCl₃	0.62	+	0.54	+	0.43	+	9.47
Trichloromethylsilane	Methyltrichlorosilane	75-79-6	CH₃Cl₃Si	NR		NR		1.8	+	11.36
Trichlorotrifluoroethane, 1,1,2-	CFC-113	76-13-1	C₂Cl₃F₃			NR		NR		11.99
Triethylamine	TEA	121-44-8	C₆H₁₅N	0.95	+	0.9	+	0.65	+	7.3
Triethyl borate	TEB; Boric acid triethyl ester, Boron ethoxide	150-46-9	C₆H₁₅O₃B			2.2	+	1.1	+	~10
Triethyl phosphate	Ethyl phosphate	78-40-0	C₆H₁₅O₄P	~50	+	3.1	+	0.60	+	9.79
Trifluoroethane, 1,1,2-		430-66-0	C₂H₃F₃					34		12.9
Trimethylamine		75-50-3	C₃H₉N			0.9				7.82
Trimethylbenzene, 1,3,5- - see Mesitylene		108-67-8								
Trimethyl borate	TMB; Boric acid trimethyl ester, Boron methoxide	121-43-7	C₃H₉O₃B			5.1	+	1.2	+	10.1

Compound Name	Synonym/Abbreviation	CAS No.	Formula	9.8	C	10.6	C	11.7	C	IE (eV)
Trimethyl phosphate	Methyl phosphate	512-56-1	$C_3H_9O_4P$			8.0	+	1.3	+	9.99
Trimethyl phosphite	Methyl phosphite	121-45-9	$C_3H_9O_3P$			1.1	+		+	8.5
Turpentine	Pinenes (85%) + other diisoprenes	8006-64-2	$C_{10}H_{16}$	0.4	+	0.3	+			~8
Undecane		1120-21-4	$C_{11}H_{24}$			2				9.56
Varsol – see Mineral Spirits										
Vinyl acetate		108-05-4	$C_4H_6O_2$	1.5	+	1.2	+	1.0	+	9.19
Vinyl bromide	Bromoethylene	593-60-2	C_2H_3Br			0.4				9.80
Vinyl chloride	Chloroethylene, VCM	75-01-4	C_2H_3Cl			2.0	+	0.6	+	9.99
Vinyl-1-cyclohexene, 4-	Butadiene dimer, 4-Ethenylcyclohexene	100-40-3	C_8H_{12}	0.6	+	0.56	+			9.83
Vinylidene chloride - see 1,1-Dichloroethene										
Vinyl-2-pyrrolidinone, 1-	NVP, N-vinylpyrrolidone, 1-ethenyl-2-pyrrolidinone	88-12-0	C_6H_9NO	1.0	+	0.8	+	0.9	+	
Viscor 120B - see Mineral Spirits - Viscor 120B Calibration Fluid										
V. M. & P. Naphtha	Ligroin; Solvent naphtha; Varnish maker's & painter's naphtha	64742-89-8	m.w. 111 (C_8-C_9)			~1				
Xylene, m-	1,3-Dimethylbenzene	108-38-3	C_8H_{10}	0.50	+	0.43	+	0.40	+	8.56
Xylene, o-	1,2-Dimethylbenzene	95-47-6	C_8H_{10}	0.57	+	0.59	+	0.69		8.56
Xylene, p-	1,4-Dimethylbenzene	106-42-3	C_8H_{10}			0.45	+	0.62	+	8.44

11587 Stockholm

Telefax 08-662 35 07

www.svbf.se

ISBN 91-7144-383-5