



INTRESSENTFÖRENINGEN
FÖR PROCESSÄKERHET

VÄTGASHANDBOK

Joakim Hägvall
Stefan Lamnevik
Maj 2003

Vätgashandbok

Joakim Hägvall

Stefan Lamnevik

Maj 2003

Tack till alla som hjälpt till med denna handbok, speciellt Peter Kemi, Lars Kjellander, Ingemar Hafartz, Michael Lindström, Torun Wickléus, Anders Larne och Roland Axin!

INNEHÅLL

	sid
Grundläggande	3
Kemiska och fysikaliska data	3
Läckage	3
Brandförlopp	4
Explosionsavlastning	4
Avlastning av vätgas/luft-explosion, exempel	5
Förutsättningar	5
Tidsförlopp vid explosion	5
Gasmängder	5
Gasströmningstekniska data	6
Krav på avlastningsluckan	6
Antändning	6
Brännbarhetstriangel för vätgas	7
Vätgasinducerad crackning/vätgasförsprödning	7
Inertgasspolning	8
Tre principiella metoder för inertgasspolning	8
Exempel på olika lagar och åtgärder för att höja säkerheten	10
Brandbekämpning	12
Märkning	12
Kort lista över de lagar mm som gäller mer specifikt för vätgashantering	12
Branddetektion	13
Blixtnedslag	14
Material- och komponentval för olika vätgastryck	15
Rör	15
Förband	15
Ventiler	15
Packningar	15
Kompressorer	16
Givare och mätdon	16
Föroreningar	16
Material i gasflaskor för vätgas	16
Övrigt	16
Mer att läsa	17
Appendix 1	18

FÖRKORTNINGAR:

SRV – Räddningsverket

AV – Arbetsmiljöverket

LEL – Lower Explosion Limit, nedre explosionsgräns

UEL – Upper Explosion Limit, övre explosionsgräns

GRUNDLÄGGANDE

Kemiska och fysikaliska data

Vätgasen är den lättaste gasen, färglös, luktfri, smaklös och brännbar. Gasen är inte giftig men kan vid höga halter åstadkomma kvävning genom att den undantränger luftens syrgas. Gasen är klassad som **EXTREMT BRANDFARLIG** och kan vid antändning reagera mycket våldsamt (**EXPLOSIONSARTAT**) i olika blandningar med oxiderande ämnen som luft, syrgas och halogener (t.ex. klor). Vätgas **brinner** i luft med nästan **osynlig låga** med en temperatur på 2000°C.

Tabell 1 Fysikaliska data, EX-klassning

Relativ densitet (luft = 1)	0.069
Densitet	0.085 kg/m ³
Värmeledningsförmåga	1606 mW/cm ² K
Antändningsgräns i luft	4,1- 74,2 %
Antändningsgräns i oxygen	4,7- 93,9 %
Tändtemperatur i luft	585°C
Tändtemperatur i oxygen	560°C
Antändningsenergi	0.02 mJ
Förbränningsvärme	120 MJ/kg
EX-klassning, Explosionsgrupp	II C
EX-klassning, Temperturklass	T 1

Läckage

På grund av molekylenes små dimensioner har gasen stor benägenhet att läcka. Strömningshastigheten för vätgas begränsas av ljudhastigheten redan vid övertryck större än ca 1 bar, men ljudhastigheten är den högsta av alla gaser, 1250 m/s vid 0°C. Volymflödet i en läcka (turbulent flöde) blir därför ca 4 ggr större än med luft vid samma hålstorlek och tryck.

Gasen är ca 15 ggr lättare än luft varför eventuellt utläckande gas stiger uppåt med stor kraft. Om läckaget sker inomhus och ventilationen är otillräcklig så samlas gasen under takets högsta punkter och utgör en risk för gasmolnexplosion.

Stigkraften blir mindre vid kraftiga utsläpp där gashastigheten är hög och luftinblandningen riklig. Gasblandningens densitet blir på visst avstånd från utsläppspunkten i stort samma som för luft. För att undvika läckage måste ett riktigt materialval göras. För mindre bra detaljer är det inte ovanligt att läckage uppstår i t.ex. spindeltätningar efter kortare tids drift.

Rör och flänsförband av olika slag är ur läckagesynpunkt mest kritiska komponenterna i trycksatta system. Helt säkra förband är att föredra men förband som o-ringar i viton eller EPDM och plantätningar i koppar eller teflon går också bra. Att tänka på vid användning av teflon är att teflon flyter och bör användas endast i speciellt designade tillämpningar. Kraven på tätningsytorna är höga. Även vissa fabrikerat av kompressionskopplingar kan användas.

För att undvika läckagerisken i vätgassystem är det mycket viktigt att vid reparation, tillverkning och när system tas i drift kontrollera funktion och täthet.

Vissa undersökningar av inträffade olyckor visar felaktigt driftförhållanden och otillfredsställande underhåll vardera står för ca 30 % av olyckorna. Vidare att läckage är den enskilt största orsaken till bränder i processindustrin.

Brandförlopp

Vid utsläpp ut i det fria och antändning av gasen kan tre olika reaktionsförlopp inträffa: diffusionsförbränning, deflagration eller detonation.

Diffusionsförbränning innebär att brandförloppet sker i en kontaktyta mellan oblandade bränslen och luft. Detta inträffar om gasen antänds innan den blivit omblandad och utspädd. Vid brandförlopp sugas luft in utefter markytan i eldklotet och förbränningsprodukterna strömmar ut uppåt. Skaderisken för människor ligger i avgiven värmestrålning. Vätgas har ett högt förbränningsvärme, 120 MJ/kg.

Deflagration eller gasmolnsexplosion innebär att brandförloppet sker i ett relativt tunt gränsskikt som rör sig från tändkällan ut i den oblandade gas/luft blandningen. Den laminära flamhastigheten är den högsta av vanliga gasers, 2,9 m/s. Hinder som skapar turbulens leder till att förbränningshastigheten ökar ytterligare, och därmed trycket.

Vid antändning av brandfarliga gasblandningar inuti kärl eller rörledningar blir reaktionsförloppet en deflagration som kan övergå i en detonation efter mer än 20 rördiametrars gångväg.

Tryckstegringen i tryckkärlet vid deflagration av luft/brandfarlig blandningen ligger som ett riktvärde på ca 8 ggr och vid detonation på ca 20 ggr utgångstrycket. Huvudrisken vid tryckkärilsprängningen är tryckvågen och kringflygande splitter från tryckkärlet som orsakar personskador och demolerade hus.

En sådan explosion kan fortplanta sig i ett läckande och av oxygen förorenat vätgassystem.

Explosionsavlastning

Det är svårt att skydda en lokal mot vätgasexplosioner genom explosionsavlastning beroende på att flamhastigheten är så stor.

Tryckstegringshastigheten i en lokal med volymen $V \text{ m}^3$ ges av:

$$(dp/dt)_{\max} = 550/V^{1/3} \text{ bar/s}$$

Detta är 10 gånger högre än för metan och 7,3 gånger högre än för propan (data för samtliga gaser gäller för ideal blandning)

Generellt kan sägas att explosionsavlastning för vätgas kräver extremt stora avlastningsareor och extremt lätta avlastningsluckor för att alls lyckas.

Avlastning av vätgas/luft-explosion, exempel

FÖRUTSÄTTNINGAR

Ett rum med måtten 4 x 5 m och takhöjd 3 m skall avlastas för vätgasexplosioner. Rummet tål ett högsta övertryck av 0,2 bar. Beräkna avlastningsarean storlek och största vikt på avlastningsluckan!

TIDSFÖRLOPP VID EXPLOSION

Den maximala tryckstegringshastigheten $(dp/dt)_{\max}$ ges av följande:

$$(dp/dt)_{\max} = K_g/(V)^{1/3} \text{ bar/s}$$

$$K_g = 550 \text{ bar}\cdot\text{m/s för vätgas}$$

$$V = \text{rumsvolymen} = 4\cdot 5\cdot 3 = 60 \text{ m}^3$$

$$(dp/dt)_{\max} = 550/(60)^{1/3} = \mathbf{141 \text{ bar/s}}$$

Den tid det tar för trycket att stiga till sitt maximala värde i slutet rum (8 bar) blir följaktligen $8/141 \text{ s} = \mathbf{0,057 \text{ s}}$.

GASMÄNGDER

Rummet antages fyllt med ideal (stökiometrisk) blandning vätgas/luft. Reaktionsformel:



$$\text{Vol-\% vätgas} = 100/(1+0,5\cdot 4,76) = \mathbf{29,6 \text{ vol-\%}}$$

Gasblandningen består av 29,6 vol-% vätgas och 70,4 vol-% luft.

Gasblandningens vikt i rummet: $60\cdot(0,296\cdot 2/22,41 + 0,704\cdot 28,8/22,41) = \mathbf{55,9 \text{ kg}}$
2 respektive 28,8 är molvikterna (kg/kmol) för vätgas och luft, 22,41 volymen (m^3) av 1 kmol gas.

GASSTRÖMNINGSTEKNISKA DATA

Förbränningsgasernas medelmolekylvikt = $(1 \cdot 18 + 1,88 \cdot 28) / (1 + 1,88) = 25 \text{ kg/kmol}$

Gastemperatur = $8 \cdot 273 = 2200 \text{ K}$

$c_p/c_v = 1,42$ (2-atomiga gaser)

Mängd gas som måste strömma ut för att trycket skall sjunka från 9 bar absolut till 1,2 bar absolut = $55,9 \cdot (9 - 1,2) / 9 = 48,4 \text{ kg}$

Tid för gasutströmningen = $0,057 \text{ s}$

Mängd gas per sekund = $48,4 / 0,057 = 649 \text{ kg/s}$

Denna mängd/s måste ut genom avlastningsarean vid 1,2 bar absolut.

Gasutströmningsberäkningar med IPS beräkningsprogram

Utströmning av gas med molvikt 25 kg/kmol, gastemperatur = 2200 K,

$c_p/c_v = 1,42$ och trycket 1,2 bar absolut och utströmningshål med skarpa kanter ger en minsta avlastningsarea av **11,9 m²**.

KRAV PÅ AVLASTNINGSLUCKAN

Avlastningsluckan öppnar vid ett visst övertryck (lägre än för rummets hållfasthet), antag 0,1 bar övertryck. Luckan skall vara helt öppen, dvs ge en fri utströmningensarea som ringspalt vid trycket 0,2 bar övertryck. Den tid luckan skall öppnas helt på är den tid det tar för trycket att stiga 0,1 bar. Tryckstegringshastigheten är 141 bar/s vilket ger 0,0071 s/bar. Öppningstiden skall alltså vara $0,1 \cdot 0,0071 = 0,00071 \text{ s}$ (**0,71 ms**).

Antag att avlastningsöppningen görs rektangulär med måtten 3*4 m. Erforderlig öppningslängd för luckan = x m. Öppningens omkrets = $2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 = 14 \text{ m}$.

$14 \cdot x = 11,9$. $x = 0,85 \text{ m}$.

Kraften på avlastningsluckan då den börjar röra sig = tryck * area = $10\,000 \cdot 12 = 120\,000 \text{ N}$. Detta ger luckan en acceleration $a = 120\,000 / m$, där m = massan (kg).

Antar vi att accelerationen är konstant gäller att $s = at^2/2$, dvs

$$0,85 = (120\,000/m) \cdot (0,00071)^2 / 2$$

$$\mathbf{m = 0,0035 \text{ kg} \quad (!)}$$

Detta betyder i praktiken att avlastningsarean måste vara helt öppen från början och således sakna lucka.

Antändning

Tändenergi för en vanlig stökiometrisk gas-luftblandning ligger i storleksordningen 0.1-0.3 mJ. För en stökiometrisk vätgas-luftblandning ligger tändenergin på 0.02 mJ och för en stökiometrisk vätgas-syrgasblandning ligger tändenergin på 0.001 mJ.

Energimängden för att tända vätgas är så liten att man måste räkna med att energin med stor sannolikhet finns tillgänglig i den vanliga omgivningen, t. ex som:

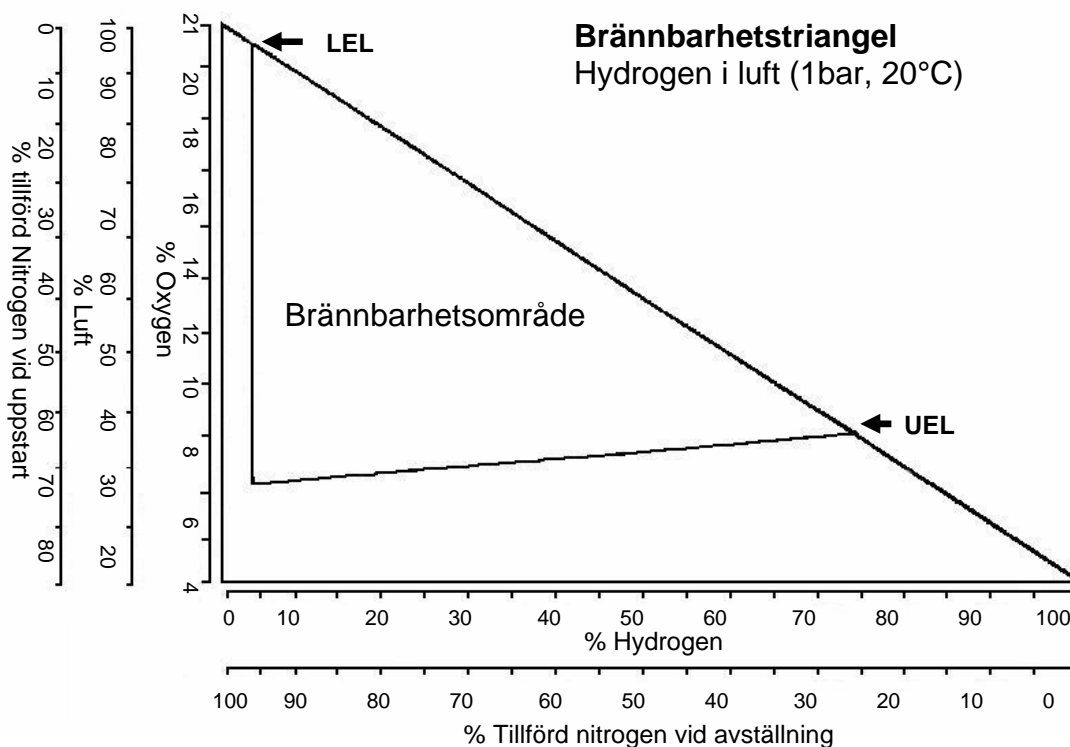
- heta föremål eller mekanisk friktion ($> 560^{\circ}\text{C}$)
- gnistor i el-utrustning eller vid mekaniskt arbete
- eld- eller metallsprut vid svetsning eller skärning
- urladdning av statisk elektricitet från material eller människor
- gasutströmning vid högt tryck med partikel- eller vätskefriktion och generering av statisk elektricitet

Eller inuti utrustning, t. ex som:

- kompression, friktion eller partikelanslag
- strömning av förorenad gas med generering av statisk elektricitet från damm, partiklar eller vätskedroppar

Tidigare har vi beskrivit att deflagration i ett fritt gasmoln i vissa fall kan övergå till en detonation, t.ex om explosionsförloppet blir instängt. En detonation kan även initieras direkt om tillräckligt stor tändenergi tillföres gasblandningen men det krävs ca 100 000 gånger större energi än vad som krävs för att starta ett brandförlopp.

Brännbarhetstriangel för vätgas



Vätgasinducerad crackning / vätgasförsprödning

En viktig sak vid hantering av vätgas är vätgasförsprödning och vätgasinducerad crackning. Det som menas med detta är att vätgas går in i metallen och där reagerar med ämnen i

metallen eller metallen själv men vanligtvis är det kol. I fallet kol bildas då metangas vilket inte är lika rörligt i metallen som vätgas. Metangasen samlas då i fickor där trycket ökar, tillslut blir trycket så högt att sprickor bildas i metallen.

Man vet inte exakt vad detta beror på, men det är ett forskningsintensivt område. Om detta sker beror på processtryck, temperatur samt hur metallen tillverkades. Det som kan sägas är att man bör vara speciellt försiktig med "high strength steel", titanlegeringar och aluminiumlegeringar.

För stål gäller att högre hårdhetsgrad än HRC 35 är mycket känsliga för detta fenomen.

Inertgasspolning

Vid praktisk inertgasspolning får man aldrig fullständig omblandning i kärlet vilket betyder att halten lokalt i vissa delar av kärlet är högre i vissa delar av kärlet är högre än medelvärdet. För att undvika denna risk måste man därför alltid skyddsgasspola i större omfattning än vad beräkningarna säger.

Av samma skäl måste man också kontrollera spolningsresultatet genom mätning av vätgashalten innan man säkert kan fastlägga att spolningen är tillfyllest.

Vedertagna spolningsgränser är:

Vid uppstart: spolat systemet med kvävgas till syrgashalten är 1 % (25 % av LEL (Lower Explosion Limit) varefter vätgas kan släppas på i systemet

Vid avställning: Spolat systemet med kvävgas tills vätgashalten är 1% (25 % av LEL (Lower Explosion Limit) eller lägre innan luft kan släppas på.

Inför **hetarbeten** rekommenderar SRV att utrustningen spolat så att halten brandfarlig gas sänks ner till 5 % av LEL (Lower Explosion Limit) innan hetarbeten får starta.

Tre principiella metoder för skyddsgasspolning

Den teoretiska spolmängden kan beräknas med olika formler beroende av vilken spolningsmetod som väljs.

De tre vanligaste metoderna är:

1. Trycklös genomspolning.

Metoden fungerar bäst på rörledningar där alla delar av ledningen är åtkomlig för genomströmning. Använder man metoden vid spolning av kärl som inte är långsmala måste man vara medveten om att gashalten kan variera stort mellan olika delar av kärlet beroende på hur gasströmmarna går.

Vid spolning ansluts spolgasen i ena änden av objektet och utsläppet sker i den motsatta änden. Anslutning och utsläpp får aldrig ske i samma ände. Antalet genomspolade system-

volymer bestämmer spolningsresultatet. Vid spolning av rörledningar åtgår minsta mängden spolgas om gasen får strömma genom rören vid låg hastighet.

På grenade rörsystem får man driva den farliga gasen framför sig genom rörsystemet och flytta utsläppspunkten succesivt från grenarna närmaste spolningsanslutningen bort mot systemets längst bort belägna ända. Förekommer det 'blindtarmar' såsom manometrar i systemet blir dessa inte skyddsgasspolade.

För att beräkna skyddsgasspolningen kan man använda formel 1-3 eller nomogrammet som återfinns i appendix 1

$$C = C_0 * e^{-n}$$

C_0 = Begynnelsehalt, C = Sluthalt, n = antalet tillförda system volymer spolgas

Formel 1, Antalet systemvolymer för viss haltsänkning

$$V_s = V \cdot L \cdot n$$

V_s = volym spolgas i liter, V = systemvolym i liter per meter rör, L = antal meter rör, n = antal spolomgångar.

Formel 2, Volym spolgas

$$t = V_s / q_f$$

t = Spoltid i minuter, q_f = Rotameterflöde i liter per minut

Formel 3, Spoltid

2. Upprepade trycksättningar

Metoden fungerar på alla typer av objekt inklusive sådana som har 'blindtarmar'. Vid spolning ansluts spolgasen i ena änden av objektet och utsläppet får ske i motsatta änden. Objektet trycksätts upprepade gånger åtföljt av tryckavlastningar.

Antalet trycksättningar och trycket bestämmer spolningsresultatet. Minsta mängden spolgas går åt vid många små trycksättningar men tidsåtgången blir i gengäld större. I enlighet med formel fyra eller nomogram som återfinns i appendix 1.

$$C = \frac{C_0}{(P_s + 1)^{n_1}}$$

C_0 = halten föroreningar i systemet före trycksättningar,
 C = halten föroreningar efter trycksättning,
 P_s = Spolgasenstryck,
 n_1 = Antalet trycksättningar med spolgas

Formel 4, Beräkning av antalet vakuumpumpningar för viss haltsänkning

3. Vakuumpumpning med trycklös återfyllning

Metoden är mycket effektiv och fungerar på alla typer av objekt som tål att vakuumpumpas. Vid skyddsgasspolningen vakuumpumpas objektet och återfylls med skyddsgas. Vakuumpumpning och återfyllning kan ske från samma anslutning om vakuumgraden är hög.

Observera att tryckkärl normalt inte är konstruerade för undertryck och därför kan falla ihop vid vakuumpumpning

Vakuumgraden och antalet arbetscykler bestämmer spolningsresultatet. Vakuumpumpen skall vara oljefri t.ex membrantyp så att objektet inte förorenas av olja.

Beräknas med formel 5 eller nomogram som finns i appendix 1.

$$C = C_0 \cdot P_v^{n_2}$$

C_0 = Halt föroreningar i systemet före pumpning
 C = Halt föroreningar efter pumpning
 P_v = Sluttryck i bar absolut vid vakuumpumpning
 n_2 = Antal Vakuumpumpningar

Formel 4, Beräkning av antalet vakuumpumpningar för viss haltsänkning

Exempel på olika lagar och åtgärder för att höja säkerheten

- Vid byggnation och ombyggnation genomförs riskanalys
- Anläggningens drift- och underhåll sker genom dokumenterade regler
- Driften bör i så stor utsträckning som möjligt styras och övervakas automatiskt, för att motverka felhandlingar
- Lagen om brandfarliga och explosiva varor (SFS 1988:868) och förordningen (1988:1145) gäller för vätgasanläggningar. Klassningsplan skall upprättas för de områden där det vid normal drift kan bildas explosiva gasblandningar (SÄIFS 1996:6). Klassningen utförs efter standarden SS-EN 60079-10. Klassningsplanen skall redovisa ämnen som finns i riskområdets indelning i zoner. Klassningsplanen skall hållas aktuell och kompletteras vid förändring i riskområdena.
- **Elektrisk utrustning:** El-utrustningen skall ha ett EX-utförande som uppfyller kraven i starkströmsföreskrifterna (STEV-FS 1995:6) för respektive zon. El-utrustningen för vätgas måste minst uppfylla, explosionsgrupp II C och temperaturklass T1.

Elinstallation i riskområdets olika zoner skall ske enligt starkströmsföreskrifterna och svensk standard SS-EN 60079-14 och kontrolleras och underhållas SS-EN 60079-17.

Anläggningens olika delar skall vara jordade och förbundna med varandra för att undvika farlig potentialuppbyggnad vid åska, statisk uppladdning och vagabonderande jordströmmar. Detta beskrivs i svensk standard SS 421 08 22, Potentialutjämnning i riskområde.

Installationspersonal skall ha starkströms- och EX-kompetens.

Kapsling av elektrisk utrustning som utgör explosionsskydd eller skydd för spänningsförande delar får ej öppnas eller tas bort förrän anläggningsdelen fränkopplats och området förklarats gasfritt. Obehörig återkoppling skall förhindras.

Reparation av explosionsgodkänd utrustning får bara ske enligt tillverkarens anvisningar.

Ändring av explosionsgodkänd elutrustning får bara ske efter skriftligt medgivande från tillverkaren. Ändringen skall vara typgodkänd.

All utrustning skall vara EX-klassad även utrustning som man bär med sig som exempelvis ficklampor.

- **Utsläpp, inertgasspolning och ventilation:** Anläggningen skall vara så konstruerad och skött att inga medvetna större eller kontinuerliga gasutsläpp sker inomhus vid normal drift och tillsyn. Alla medvetna gasutsläpp skall ledas över tak på en säker plats utan tändkällor.

Alla delar av utrustningen skall vara åtkomlig för inertgasspolning.

Ventilationen i lokaler bör vara fläktstyrd och med så stor omsättning att ingen farlig gashalt kan byggas upp vid förväntade utsläpp och vid felfall där anläggningen inte stängs. Fläkten kan vara försedd med omställning till forcerad ventilation vid exempelvis gaslarm.

Utsugningspunkter för allmänventilation skall placeras högt vid taket. Om ventilationen är av självdragstyp skall man vara medveten om att ventilationsflödet kan bli mycket litet under varma sommarkvarnar om inte de termiska drivkrafterna är stora.

- **Underhåll och tillsyn:** AV föreskrift Tryckkärl fastlägger att tryckbärande anordning skall underhållas väl och genomgå fortlöpande tillsyn så att säkerheten är betryggande vid användning.

Ur risksynpunkt är underhållsarbeten den farligaste verksamheten. Det gäller därför att se till att anläggningen är tömd och inertgasspolad och att syre och vätgashalterna är uppmätta innan underhålls- och hetarbeten startas.

Endast anläggningsföreståndaren eller av denne utsedd person kan förklara anläggningen gasfri i enlighet med förordningen om brandfarliga och explosiva varor §13 och §24.

Vid uppstart efter utförd reparation skall gasberörd utrustning inertgasspolas tills oxygenhalten är 1% eller lägre innan vätgas släpps på. Som avslutning skall funktion och täthet alltid kontrolleras.

- ***Statisk elektricitet har nog de flesta människor kommit i kontakt med särskilt vintertid när det är låg luftfuktighet och lätt att bli uppladdad . Urladdningar och gnistor i det dagliga livet är obehagliga men ofarliga. Däremot vid hantering av vätgas och andra brandfarliga varor utgör gnistor en risk genom att åstadkomma antändning.***

Förutom uppladdning av människor med statisk elektricitet kan fasta ämnen, vätskor och aerosoler bli uppladdade . Gas däremot kan inte bli uppladdade under förutsättning att gasen är fri från partiklar och vätskedroppar.

Så länge vätgasanläggningen (Viss typ) är i drift och inte är förklarad gasfri får endast personal med överdragskläder i 100 % bomull och halvledande skor eller stövlar som uppfyller DIN 4843 beträda anläggningen. Skosulornas resistansvärde skall ligga inom gränserna 100 kohm- 100 Mohm.

Halvledande golv 50 kohm - 100 kohm (enligt remissförslag från AV)

Summa resistansvärden för golv och skor är avpassade så att elolycksfall inte skall öka (500 V och 100 + 50 kohm ger ca 30 mA).

- **Gaslarm** Exempel från en elektrolys-anläggning. I anläggningen övervakas vätgashalten med en mätutrustning med tre sensorer. Utrustningen har två larmnivåer. En vid 20% LEL (Lower Explosion Limit) vilken ger allmänt larm med gult sken och en vid 40% av LEL som ger utrymningslarm ute och inne med röd/vit blix i kontrollrummet.

Vid utrymningslarm bryts strömmen till vätgasanläggningen samtidigt som den skyddsgasspolas med nitrogen. Strömmatning till gaslarmet berörs ej varför gashalten fortgående kan övervakas.

Gaslarm och sensorer skall genomgå regelbunden kontroll med kalibrerad testgas.

- **Processgaslarm:**

Bestäm lämplig nivå för larm i rör och annan utrustning!!

Brandbekämpning

Om läckage och brand skulle inträffa så försök i första hand att stänga av gastillförseln. Om detta inte är möjligt så skall räddningsarbetet inriktas på att kyla brandutsatt utrustning med vatten.

Om brinnande utströmmande gas släcks finns det risk för explosiv återantändning när gasen på nytt träffar heta föremål. Om nödvändigt släck branden med pulver. Små bränder kan eventuellt släckas med koldioxid.

Märkning

Utmärkning av var det kan finnas explosiv atmosfär (zon 0-2) skall göras.

Kort lista över de lagar m.m som gäller mer specifikt för vätgashantering

Arbetsmiljöverket (www.av.se) författningssamling om:

Tryckkärl	AFS 1999:6
Utrustningar för explosionsfarlig miljö	AFS 1995:5
Gaser	AFS 1997:7
Gasflaskor	AFS 1998:7

Räddningsverket (www.srv.se, Publ. Serv. 08-590 080 00) författningssamling om:

Klassning av riskområden vid hantering av brandfarliga gaser	SÄIFS 1996:6
Tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor	SÄIFS 1997:3
Cisterner, gasklockor, bergrum och rörledningar av brandfarlig gas	SÄIFS 1997:6
Brandfarlig gas i lösbehållare	SÄIFS 1998:7

Svenska och Europeiska Standard (www.sis.se, Förlag 08-613 52 00):

Elektrisk utrustning för explosiv atmosfär - Del 10: Klassning av explosionsfarliga områden
SS-EN 60079-10

Elektrisk utrustning för områden med explosiv gasblandning - Del 14: Elektriska installationer inom riskområden (utom gruvor)

SS-EN 60079-14

Elektrisk utrustning för områden med explosiv gasblandning - Del 17: Kontroll och underhåll av elektriska installationer inom riskområden (utom gruvor)

SS-EN 60079-17

Potentialutjämning i riskområden med explosiv gasblandning SS 421 08 22

AGA AB egen (Lotus notes, databas AGA SEQ Service) ”Safety Code”

Production and filling of hydrogen into cylinders	GSC-5.01A
Mixtures containing both oxygen and flammable component	GSC-5.02A
Hydrogen plants	GSC-5.03A
Hydrogen trailers and containers	GSC-10.02B

Elsäkerhetsverket (www.elsak.se)

Elsäkerhetsverkets starkströmsföreskrifter ELSÄK-FS 1994:7

Elektriska utrustningar i explosionsfarlig miljö ELSÄK-FS 1995:6

Föreskrifter om ändring i ELSÄK-FS 1995:4 om elektrisk utrustning avsedd för explosionsfarlig miljö ELSÄK-FS 1999:6.

Branddetektion

Då vätgas brinner med osynlig låga kan det vara svårt att lokalisera en brand. En lösning är att sätta en trycklastad plastslang över vätgasledningen eller motsvarande se bild. Vid brand brinner slangen av. Slangen är kopplad till ett tryckövervakat luftsystem som larmar vid tryck fall. För stora system kan man ha sektionsindelning på luftsystemet för att lättare lokalisera branden.

Blixtnedslag

Blixten bör beaktas när man konstruerar utloppsledningar för vätgas. Svälghuset (regnskyddet över utloppet) bör inte vara toppigt då blixten kommer att slå ned i det och tända vätgasen då och då. Om man istället har ett runt svälghus uppkommer inte detta problem.

Material- och komponentval för olika vätgasttryck

Rör

Det normala vid konstruktionstryck upp till 51 barg är ringprovat kolstål i enlighet med standard ASTM A 106 grade B, tryckklass #300. Om man har lägre tryck än 15 barg så används av vissa tryckklass #150.

I vissa fall används rostfritt stål. Detta är då för att den korroderande miljön runt anläggningen gör kolstål för dyrt. Det måste i fallet med hög korroderande miljö målas.

Observera att höga temperaturer kan medföra att kolstål får väteförspädning, konsultera Nelson-diagram för säker nivå.

Förband

I första hand skall svetsade eller hårdlödda förband väljas, därefter flänsar eller gängade förband. Flänsar och gängade förband skall användas så lite som möjligt på grund av risken för läckor med sådana förband.

Koppla ihop hela systemet så att det har galvanisk förbindelse.

Då det gäller flänsar används material i enlighet med ASTM A 105 tryckklass #300 enligt ASME B16.5 för upp till ca 50 barg. För tryck lägre än 15 barg kan tryckklass #150 användas. I speciella fall med högt tryck kan flänsar med sk not och fjäder användas.

Det är viktigt att dra förbanden på rätt sätt. Ett förslag är att ha en märkning vid förbandet som säger till vilket moment som förbandet skall dras. Detta innebär förstås att man drar alla förband med momentnyckel.

Ventiler

För ventiler oavsett typ för dimensioner mindre än 2" används ASTM A 105. För dimensioner 2" och större används ASTM A 216 WCB.

Packningar

De packningar som används är främst spirallindade grafitpackningar.

I fallet med not-fjäder-flänsar används smalare spirallindade packningar som gör dem tätare.

Läckage från ventiler bör inte vara stort, teflonpackningar kan då användas. Observera då att dessa kan flyta och speciellt designade packningar rekommenderas.

Glandertätning mot atmosfär bör vara av V-typ och efterdragning av glander görs efter behov.

Kompressorer

Inga speciella regler för vätgas. Samma regler som för rörmaterial gäller?

Givare och mätdon

Normalt i kolstål. Kan förekomma i rostfritt på grund av korrosion, för att undvika kontaminering av järn eller för att underlätta rengöring.

Föroreningar

Där det kan förekomma ammoniak – antingen i vätgasen eller i atmosfären runt vätgasininstallationen – får inte koppar eller kopparhaltiga legeringar användas. Koppar angrips i dessa fall av ammoniaken.

Material i gasflaskor för vätgas

AGA Gas AB använder i sina gasflaskor samma legering som i övriga gasflaskor, nämligen 34CrMo4 värmebehandlat vid 850 °C till en sträckgräns på minimum 755 N/mm².

Övrigt

Normalt placeras vätgasanläggningar utomhus. Detta för att säkerställa en bra ventilation. I de fall, då man av någon anledning måste ha anläggningen inomhus, måste man tänka på ventilationen. Speciellt måste man tänka på takkonstruktionen och se till så att alla fickor i denna är väl ventilerade.

Utlopp till atmosfären skall ske på betryggande avstånd från personer och byggnader.

MER ATT LÄSA

Cox, K.E., Williamsson, K.D., *Hydrogen: Its Technology and Applications*, vol 1-5, 1977-, Boca Raton, FL, CRC Press

AGA, *Gashandbok*, 1982, AGA AB, ISBN 91-970061-0-6

Kirk-Othmer Encyclopaedia of Chemical Technology, *Hydrogen*, New York, Wiley

Ullmans Encyclopaedia of Chemical Technology, *Hydrogen*, Weinheim, VCH

Johansen, T., Raghuraman, K.S., Hackett, L.A., *Trends in hydrogen plant design*, 1992, Hydrocarbon Process

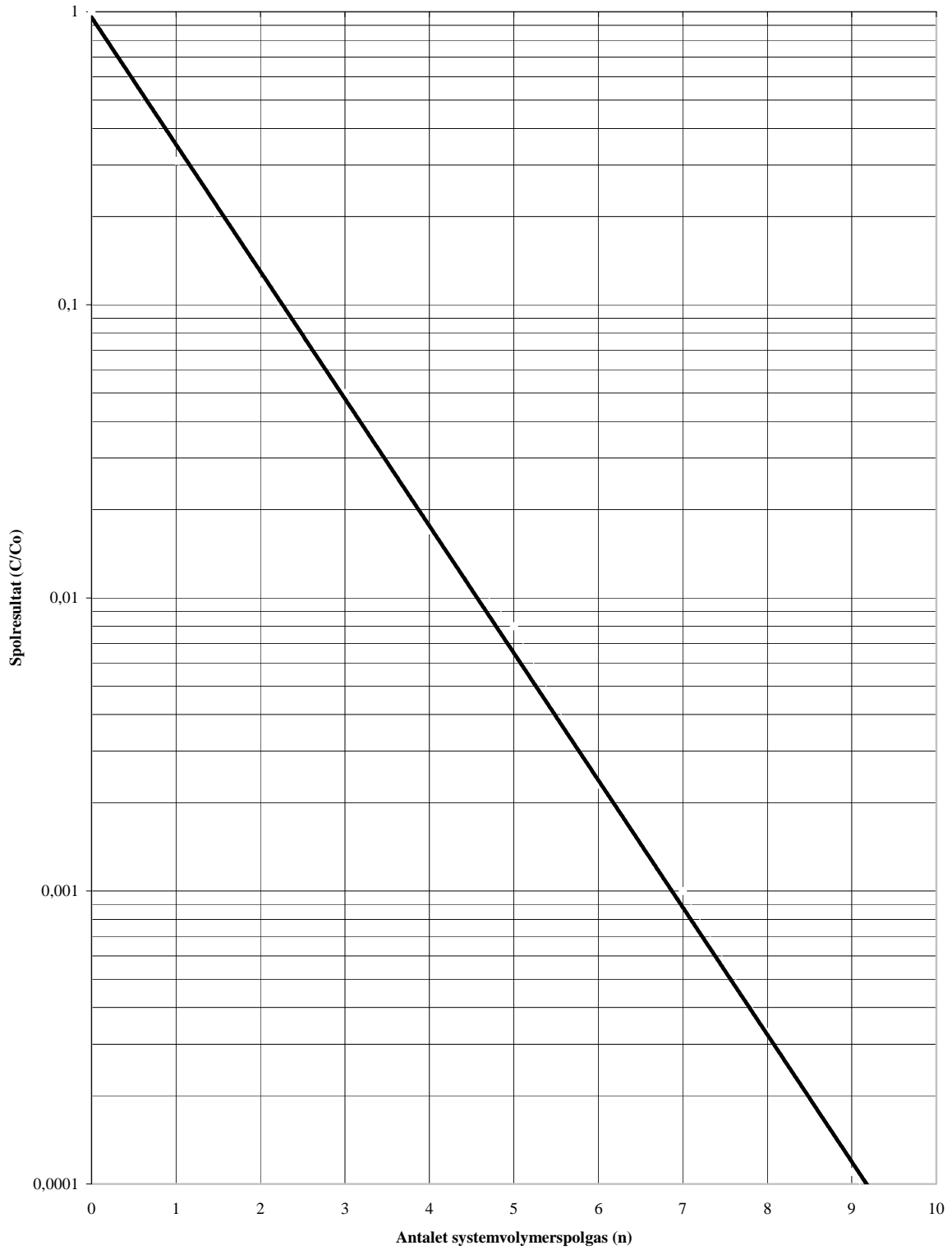
Angus, H.C., *Storage, distribution and compression of hydrogen*, Chem. Ind, 1984

NFPA 50a, *Gaseous Hydrogen Systems of Consumer Sites*, 1989

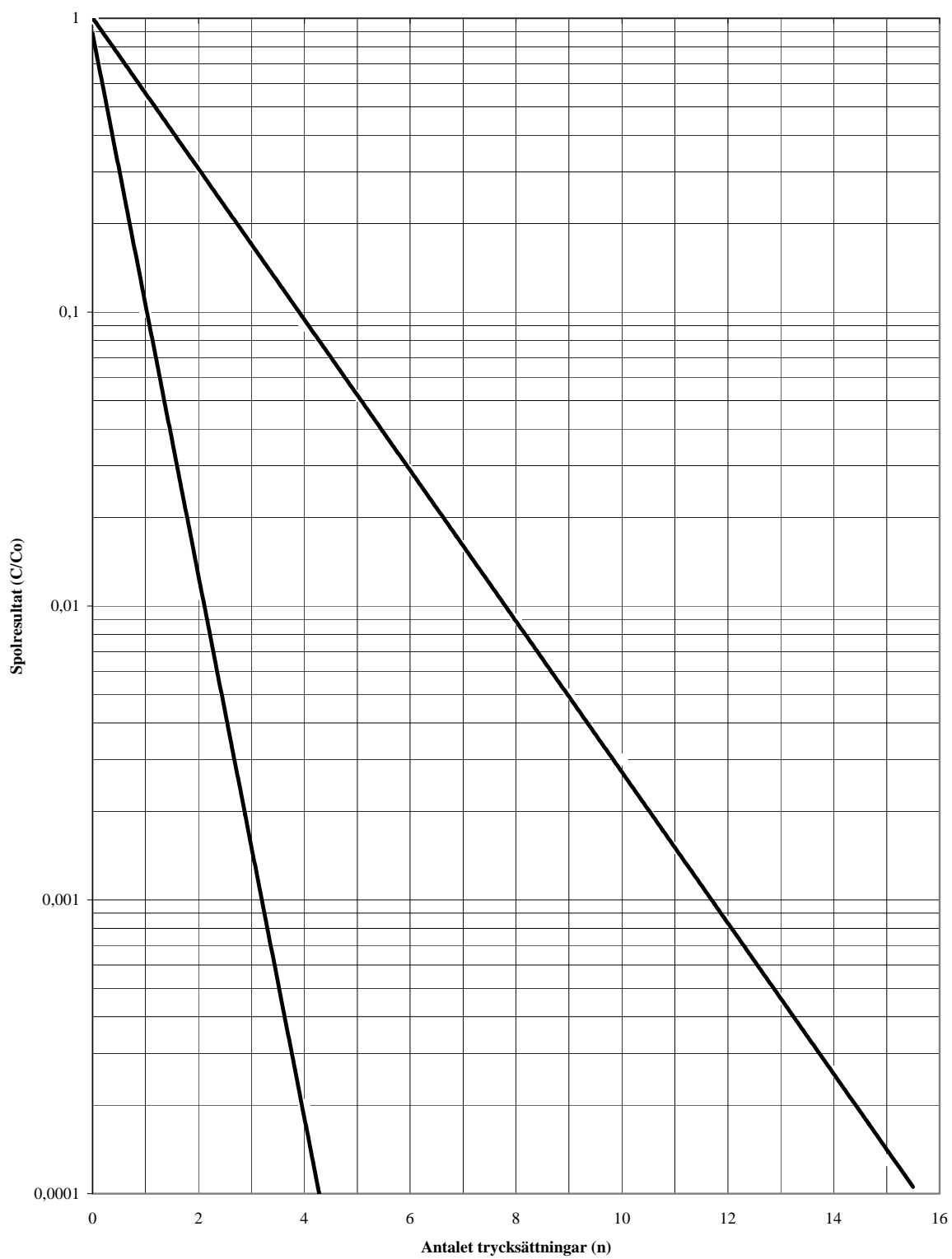
NFPA 50b, *Liquefied Hydrogen Systems of Consumer Sites*, 1989

APPENDIX 1

Nomogram för bestämning av antalet systemvolymers vid skyddsgasspolning genom
Trycklös genomspolning



Nomogram för bestämning av antalet trycksättningar vid skyddsgasspolningar genom Upprepade trycksättningar



Nomogram för bestämning av antalet vakuumpumpningar vid skyddsgasspolning genom Vakuumpumpning

